



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VÝROBA IT SKŘÍNĚ

PRODUCTION OF IT CASE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Dominik Holub

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Zdeněk Lidmila, CSc.

BRNO 2019

Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Bc. Dominik Holub**
Studijní program: Strojní inženýrství
Studijní obor: Strojírenská technologie
Vedoucí práce: **doc. Ing. Zdeněk Lidmila, CSc.**
Akademický rok: 2018/19

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Výroba IT skříně

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Skříně pro stolní počítače (IT skříně) jsou sestaveny z několika plechových výlisků. Jedná se většinou o prostorové díly zhotovené s tenkých plechů s mnoha otvory a prolisy. Účelem práce je posoudit možnosti výroby těchto výlisků v konkrétních podmínkách komerční firmy a pro vybraného představitele navrhnout inovaci technologického postupu výroby.

Cíle diplomové práce:

- Analyzovat konstrukční, technologické a materiálové charakteristiky výlisků IT skříní.
- Popsat výrobní možnosti komerční firmy.
- Zpracovat literární studie pro technologie stříhání se zaměřením na vystřihování, vysekávání, prostřihování, technologii ohýbání se zaměřením na ohraňování a metody zhotovování prolisů.
- S respektováním možností výrobní firmy, navrhnout inovovaný výrobní postup vybraného dílce, doložený nezbytnými technologickými výpočty a konstrukčními výkresy.
- Provést technicko-ekonomické zhodnocení navrženého výrobního postupu.

Seznam doporučené literatury:

LEIBINGER-KAMMÜLLER, Nicol. Fascination of Sheet Metal. TRUMPF GmbH, Vogel Buchverlag, Würzburg. 2006. 252 s. ISBN 13978-3-8343-3071-0.

MARCINIAK, Zdislaw, J.L. DUNCAN and S.J. HU. Mechanics of Sheet Metal Forming. 2.ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2002. 211 s. ISBN 07-506-5300-00.

FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. Teorie obrábění, tváření a nástroje. 1. vyd. Brno: Akademické vydavatelství CERM, s. r. o., 2006. 217 s. ISBN 80-214-2374-9.

ASM-Metals Handbook: Forming and Forging. Vol.14. USA ASM International, 2004. S.978. ISBN 0-87170-020-4.

LIDMILA, Zdeněk.: Teorie a technologie tváření I. Brno: Univerzita obrany, 2008, 105 s. ISBN 978-8-7213-579-6.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

HOLUB Dominik: Výroba IT skříně.

Diplomová práce se zabývá návrhem technologického postupu pro výrobu počítačové skříně ve společnosti EMKO Case a.s. Počítačová skříň je vyráběna z plechové tabule o tloušťce 1 mm. Pro výrobu skříně byly jako nejvhodnější zvoleny technologie vysekávání a ohraňování. Diplomová práce obsahuje literární studie na tyto vybrané technologie. Na jejím základě byly provedeny technologické výpočty, návrh technologického postupu a volba strojů. Pro vysekávání byl zvolen stroj od firmy TRUMPF TruPunch 2000, pro ohraňování pak hydraulický lis od firmy TRUMPF TrumaBend 50V. Pro zvolené řešení je v diplomové práci vypracováno i technicko-ekonomické vyhodnocení.

Klíčová slova: Plošné tváření, vysekávání, ohraňování, ocel DX51D + Z275 MAC.

ABSTRACT

HOLUB Dominik: Production of IT case.

The master's thesis deals with proposal of technological process for production of computer case in EMKO Case a.s. Computer case is manufactured from a DX51D + Z275 steel sheet with thickness 1 mm. For manufacturing were chosen technology punching and press-brake bending as the best technologies. Master's thesis contains literary studies of these chosen technologies. Based on literary studies were made technological calculations, proposal of technological process and choice of machines. For punching was chosen machine TRUMPF TruPunch 2000, for press-brake bending hydraulic machine TRUMPF TrumaBend 50V. For chosen solution is made technical and economical evaluation.

Keywords: Sheet metal forming, punching, press-brake bending, DX51D + Z275 MAC steel.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

HOLUB, Dominik. *Výroba IT skříně*. Brno, 2019. 58s, 5 výkresů, 10 příloh, CD. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/116400>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie, odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí práce Zdeněk Lidmila.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Tímto prohlašuji, že předkládanou diplomovou práci jsem vypracoval samostatně, s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího diplomové práce.

V dne 23.5.2019

.....

Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji panu doc. Ing. Zdeňku Lidmilovi, CSc. za cenné připomínky a rady týkající se zpracování diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat panu Ing. Jaromíru Bajgarovi ze společnosti EMKO Case a.s. za umožnění realizace diplomové práce k danému tématu. Také bych chtěl poděkovat panu Michalu Jelínkovi a Martinu Švejdovi za cenné praktické rady a pomoc při řešení problémů. Chtěl bych poděkovat také všem přátelům a především rodině, která mi byla vždy oporou při studiu.

OBSAH

Zadání

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

Str.

ÚVOD.....	9
1 ROZBOR KONSTRUKCE SOUČÁSTI.....	10
1.1 Možné způsoby výroby	10
2 POUŽITÉ TECHNOLOGIE PLOŠNÉHO TVÁŘENÍ.....	13
2.1 Vysekávání.....	13
2.1.1 Rozbor střížného procesu	14
2.1.2 Nástřihový plán	17
2.1.3 Technologičnost vysekávaných součástí	18
2.1.4 Vysekávací nástroje a operace	19
2.1.5 Vysekávací stroje	21
2.2 Ohraňování.....	23
2.2.1 Rozbor ohraňovacího procesu	23
2.2.2 Technologičnost ohraňovaných součástí	29
2.2.3 Ohraňovací nástroje a operace	30
2.2.4 Ohraňovací stroje	31
2.3 Lisování prvků do tenkostěnných výrobků.....	32
3 NÁVRH VÝROBY POČÍTAČOVÉ SKŘÍŇE.....	35
3.1 Technologičnost součástí.....	35
3.2 Stanovení rozvinutých tvarů a nástřihového plánu	36
3.3 Volba nástrojů pro vysekávání.....	41
3.4 Postup vysekávání.....	42
3.5 Střížné síly a práce	43
3.6 Volba vysekávacího stroje	46
3.7 Postup ohraňování a volba nástrojů	47
3.8 Výpočet ohraňovacích sil, prací a odpružení.....	48
3.9 Volba ohraňovacího stroje	49
3.10 Proces zalisování distančních sloupků a matic do výrobků.....	50
3.11 Volba lisovacího stroje	51
3.12 Práškové lakování a montáž počítačové skříně.....	52
4 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ	53
4.1 Technické zhodnocení	53
4.2 Ekonomické zhodnocení.....	54
5 ZÁVĚRY	58

Seznam použitých zdrojů

Seznam použitých symbolů a zkratk

Seznam obrázků

Seznam tabulek

Seznam příloh

Seznam výkresů

ÚVOD [1], [2], [3], [4]

Strojírenství se řadí mezi nejdůležitější oblasti v průmyslu. Jedná se o technický obor postavený na základech matematiky, fyziky a nauky o materiálech. Využívá se zde také kinematiky, dynamiky, hydromechaniky a termomechaniky. Jelikož je strojírenství velmi rozšířené na světovém trhu, neustále se pracuje na jeho zdokonalování. Mezi nejnovější inovace patří například využívání automatizovaných CNC strojů či počítačem podporované technické CAD systémy.

Do strojírenství patří také strojírenská technologie, zabývající se zpracováním především kovových a plastových materiálů za pomoci různých technologií jako je například obrábění, tváření a odlévání.

Tváření je velmi využívaná technologie měnící tvar materiálu za pomoci působení sil, a tím dochází k plastickým, tedy trvalým deformacím.

Tváření se dělí na tváření za studena, kdy materiál nedosahuje teploty rekrytalizace a za tepla, přičemž je materiál deformován nad teplotou rekrytalizace. Podle převládajícího stavu napjatosti a deformace v tvářeném materiálu můžeme tváření rozdělit na objemové, kdy k deformaci dochází ve třech osách, tedy v celém objemu materiálu a na plošné, kdy deformace probíhá převážně pouze ve dvou osách, nedochází tedy ke změně tloušťky. Mezi plošné technologie tváření patří kupříkladu tažení, stříhání a ohýbání.

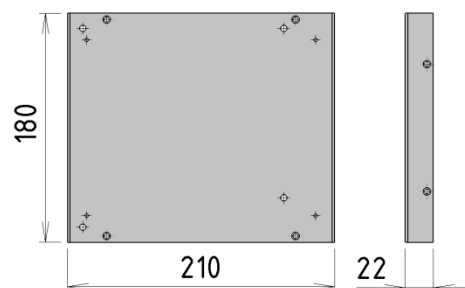
Tyto technologie mají ve strojírenství velmi rozšířené využití. Příklady součástí vyráběných tvářením jsou uvedeny na obr. 1.



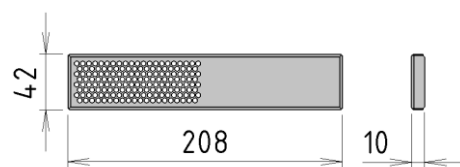
Obr. 1 Příklady součástí vyráběných tvářením [3], [4]

1 ROZBOR KONSTRUKCE SOUČÁSTI [5], [6], [7], [8]

Ve společnosti EMKO Case a.s. bude zhotovena počítačová skříň s názvem DMP - X6 Pro (obr. 4), která se bude vyrábět ve výrobní sérii 1000 kusů za rok. Výrobek se skládá z několika dílů vyrobených z plechu o tloušťce 1 mm. Jedná se o vrchní a spodní kryt (obr. 2), přední a zadní panel (obr. 3) a dva malé plíšky sloužící jako spojka krytů. Vrchní kryt je tvořen dvěma ohyby pod úhlem 90° a dvanácti otvory o průměru 4,5 mm se zahluobením. Spodní kryt dvěma ohyby pod úhlem 90° , čtyřmi otvory o průměru 5,4 mm, do nichž budou zalisovány distanční sloupky se závitem M3, dále pak osmi otvory o průměru 4,5 mm se zahluobením a čtyřmi vnitřními závity M3. Přední panel je tvořen čtyřmi ohyby pod úhlem 90° , čtyřmi vnitřními závity M3 a čtyřmi sta šestnácti otvory hexagonálního tvaru. Zadní panel čtyřmi ohyby pod úhlem 90° , čtyřmi vnitřními závity M3, dvěma otvory o průměru 5 mm, do kterých budou zalisovány matice s vnitřním závitem M4. Následně jedním otvorem o průměru 6,5 mm, jedním otvorem o průměru 6 mm, dvěma otvory o průměru 7 mm, dvěma otvory o průměru 2 mm, pěti obdélníkovými otvory, čtyřmi otvory neobvyklých tvarů, a sto dvěma hexagonálními otvory. Spojky krytů o rozměrech 160 x 20 jsou tvořené čtyřmi vnitřními závity M3.



Obr. 2 Rozměry krytů

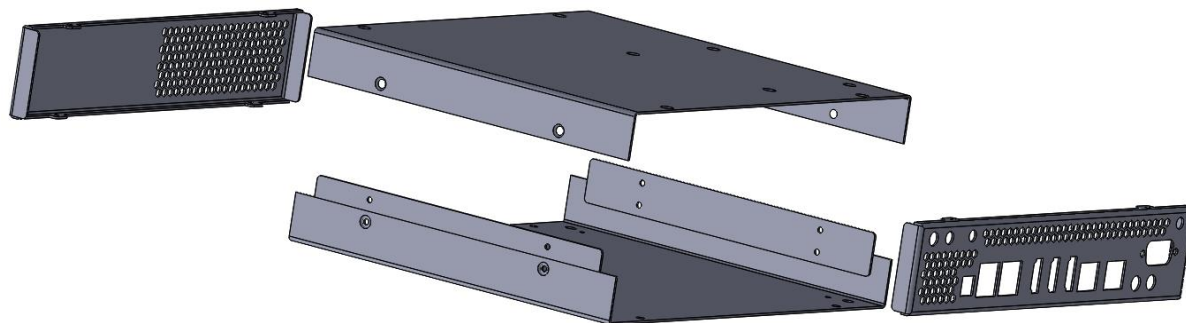


Obr. 3 Rozměry panelů

Mezi požadavky na výrobu počítačové skříně je také to, aby byl na vnějším povrchu nanesen práškový nástřik s odstínem RAL 5010. Z toho důvodu je nutné vybrat materiál, na který je možné práškový nástřik nanášet. Jelikož bude skříň vyráběna pomocí tváření za studena, je proto jako vhodný materiál vybrán ocelový plech válcovaný za studena žárově pozinkovaný s označením DX51D + Z275 MAC. Základní mechanické vlastnosti a chemické složení této oceli jsou uvedeny v tabulce 1 a kompletní mechanické vlastnosti a chemické složení jsou uvedeny v příloze č. 1.

Tab. 1 Základní mechanické vlastnosti a chemické složení oceli DX51D [8].

Materiál	DX51D + Z275 MAC (1.0226)		
Mechanické vlastnosti	Mez pevnosti Rm [MPa]	Tažnost A [%]	Mez kluzu Re [MPa]
	364	36,7	327
Chemické složení	C [%]	Mn [%]	P [%]
	0,04	0,22	0,009



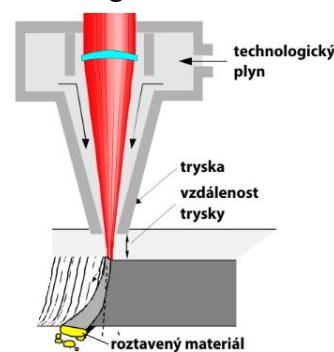
Obr. 4 Součásti počítačové skříně

1.1 Možné způsoby výroby [9], [10], [11], [12], [13], [14], [15], [16], [17]

Z uvedené charakteristiky jednotlivých komponent řešené skříně je zřejmé, že se při její výrobě budou uplatňovat technologie dělení a následné ohýbání plechů.

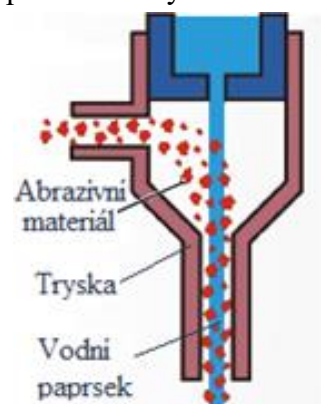
Výroba vnějšího tvaru a vnitřních otvorů je možná následujícími metodami:

- řezání laserem (obr. 5) – jedná o svazek fotonů, který je pomocí vhodné optiky zaostřen do bodu, kde dochází díky vysoké koncentraci energie k ohřátí materiálu a ten zde dosáhne teploty tavení, roztaví se a pomocí dynamického účinku inertního plynu je tavenina z materiálu vyfukována. Kvalita řezné plochy dosahuje hodnot $Ra\ 3,2\ \mu m$. Mezi výhody této technologie se řadí například vysoká řezná rychlost, a minimální šířka řezné spáry. Hlavní nevýhodou laserového svařování jsou vysoké investiční náklady a náklady na provoz. Také se musí dbát na zvýšená bezpečnostní opatření a je nutné provedení technického proškolení obsluhy. Z toho důvodu metoda není pro řešený případ příliš vhodná,



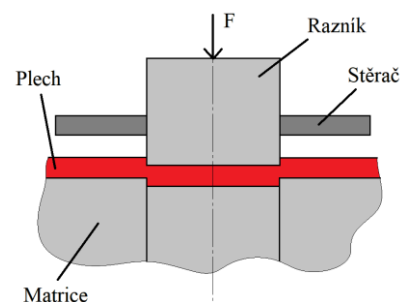
Obr. 5 Řezání laserem [9]

- řezání vodním paprskem (obr. 6) – metoda funguje díky vysokotlakému zařízení, kde dojde ke stlačení vody až na 4150 bar, ve směšovací komoře je pak voda smísená s abrazivem a tato voda vytryskne z trysky o světlosti jeden milimetr. Paprsek vytvořený tímto způsobem má pak schopnost provádět řezy i v materiálech s velmi vysokou pevností. Touto metodou lze řezat materiály do tloušťky až 300 mm. U řezání vodním paprskem nedochází k vytvoření tepelně ovlivněné oblasti, nedochází ke změně chemického složení, řezané hrany nepotřebují další opracování, přičemž je zaručena vysoká přesnost řezu. Mezi nevýhody metody se řadí nutný kontakt materiálu s vodou, což vede k nutnosti ošetření kovových materiálů, dále může dojít ke změně barvy či znečištění u některých materiálů, navíc je výroba touto metodou nákladná. Z těchto důvodů není metoda pro řešený případ vhodná,



Obr. 6 Vodní paprsek [13]

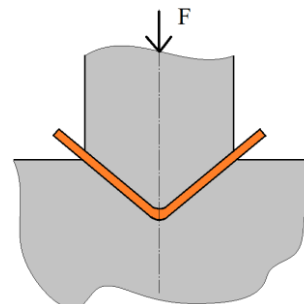
- vysekávání (obr. 7) – při této metodě je plechová tabule uchycena pomocí dvou či tří klapků, které se s ní pomocí CNC řízení pohybují v prostoru stroje a nástroj postupně vysekává požadované tvary obrysu a děr do plechu. Nástroj se skládá z matrice, stěrače a razníku. Lze ho otáčet o 360° , díky čemuž je možné vytvářet tvarově složité součásti. Mezi výhody této technologie se řadí univerzálnost při zpracování tenkých plechů, tedy je možné opracovávat různé materiály o různých tloušťkách, při dělení také nevzniká tepelně ovlivněná oblast. Mezi nevýhody patří vysoké pořizovací náklady na stroj a nástroje. Metoda je pro výrobu výstřižků, tj. polotovarů jednotlivých částí skříně vhodná.



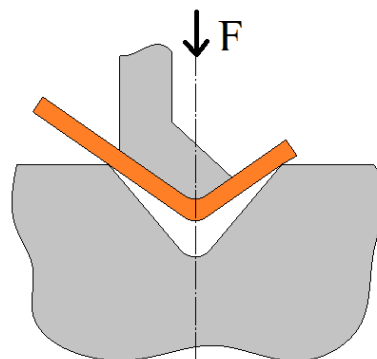
Obr. 7 Vysekávání [15]

Vytvoření ohybů lze realizovat těmito metodami:

- ohýbání v ohýbacím nástroji (obr. 8) – je klasickou metodou ohýbání, kdy dochází k trvalé deformaci materiálu a vytvoří se úhel ohybu se zaoblením hran. Základní tvar ohybu je ve tvaru V. Metoda je vhodnější pro sériovou výrobu. Nástroj je tvořen ohybníkem a ohybnicí. Mezi výhody metody patří možnost vytvářet ohyby s nízkou šířkou a ohyby na menších dílech. Mezi nevýhody se řadí obtížná konstrukce a výroba nástrojů, ty jsou navíc vyráběny pro jeden účel. Také je nutné přesného ustavení výrobků před ohybem, což vede k prodloužení výrobních časů. Z tohoto důvodu metoda není pro řešený případ příliš vhodná,
- ohraňování (obr. 9) – je moderní a rozšiřující se metodou ohýbání. Jedná se o způsob ohýbání za pomoci programovatelných dorazů, vrchní lišty, které jsou upnuty ve stroji. Vrchní lišta se pohybuje směrem dolů ke spodní nepohyblivé liště, díky čemuž dojde k ohybu součásti. Mezi výhody metody patří rychlá výměna nástrojů a seřízení stroje, univerzálnost umožňující provádění různých tvarů. Některé stroje navíc disponují automatickým měřením úhlů. Mezi nevýhody se řadí zejména vysoké pořizovací náklady a nutnost proškolení obsluhy. Metoda je pro vytvoření ohybů vhodná.



Obr. 8 Ohýbání [16]



Obr. 9 Ohraňování [17]

Pro vytvoření vnitřních otvorů a vnějších tvarů byla vybrána metoda vysekávání. Způsob výroby byl zvolen především z důvodu obsazení strojového parku společnosti EMKO Case a.s., která disponuje vysekávacími stroji od firmy TRUMPF, konkrétně Trumatic 200R a TruPunch 2000.

Pro následné ohnutí součástí byla vybrána metoda ohraňování, opět zejména z toho důvodu, že výrobní společnost vlastní ohraňovací lisy od firmy TRUMPF, konkrétně TrumaBend 50V a TruBend 5130.

2 POUŽITÉ TECHNOLOGIE PLOŠNÉHO TVÁŘENÍ [15], [17], [18]

Mezi technologie tváření patří vysekávání a ohraňování, což jsou plošné technologie tváření za studena. Při výrobě tenkostěnných prvků na sebe tyto dvě technologie velmi často navazují.

Princip vysekávání spočívá v postupném vytváření obrysu výstřižku vysekáváním drážky. Pro vysekávání se používají vysekávací CNC stroje například od firmy TRUMPF (obr. 10) se zásobníkem nástrojů a programovatelnými klapkami. V těchto klapkách je upnuta plechová tabule a pomocí nich se s tabulí pohybují v prostoru stroje. Vysekávání je v dnešní době jednou z nejpoužívanějších technologií díky vysoké rychlosti výroby. U nejnovějších vysekávacích strojů je možné vytvářet i různé menší ohyby, provádět odjehlování či značení. Je tedy možné vyrábět výrobky na hotovo, ale i polotovary určené k dalšímu zpracování jako ohýbání, vytváření prolisů a podobně. Jedná se o jedinou tvářecí technologii, při které dochází k oddělování materiálu.



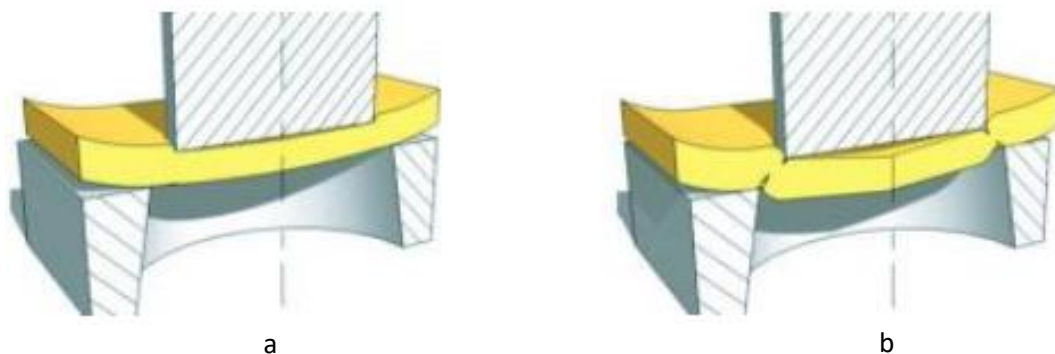
Obr. 10 TRUMPF Trumatic 200R [18]

Ohraňování je metodou ohýbání, kde se používají ohraňovací lisy. Nástroj je tvořen lištami, přičemž spodní nepohyblivá lišta se nazývá matrice a vrchní pohyblivá lišta razník. Polotovarem pro ohýbání bývají většinou plechy, avšak je možné ohýbat i jiné typy polotovarů, například tyče.

2.1 Vysekávání [15], [19], [20]

Vysekávání je ve své podstatě klasickým střížným procesem, který se uplatňuje při zhotovování výstřižků (vystřihování) a otvorů (děrování). K dělení materiálu dochází mezi střížníkem a střížnicí, přičemž se střížný proces dá rozdělit na tři fáze:

- fáze pružné deformace (obr. 11a) – vzniká po dosednutí střížníku na polotovar, kdy do něj střížník začíná vnikat a způsobuje ohyb. Hloubka pružného vniku je závislá na vlastnostech materiálu, většinou se pohybuje $h_{el} = (5 - 8 \%) \cdot s$.
- fáze plastické deformace – střížník se zanořuje hlouběji do materiálu a napětí ve směru vnikání je vyšší než mez kluzu stříhaného materiálu. Podle mechanických vlastností materiálů se hloubka vniku pohybuje $h_{pl} = (10 - 25 \%) \cdot s$.
- fáze nástřihu a stříhu (obr. 11b) – napětí dosahuje meze pevnosti ve stříhu, čímž dochází k vytvoření trhlinek (tzv. nástřih), které se poté rychle šíří a při normální střížné vůli se setkají a dojde k úplnému oddělení materiálu. Tento průběh je tedy závislý na velikosti střížné vůle a na mechanických vlastnostech materiálu.

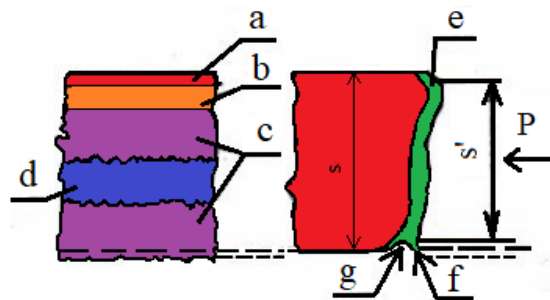


Obr. 11 Fáze střížného procesu [15]

2.1.1 Rozbor střížného procesu [19], [20], [21], [22], [23], [24], [25]

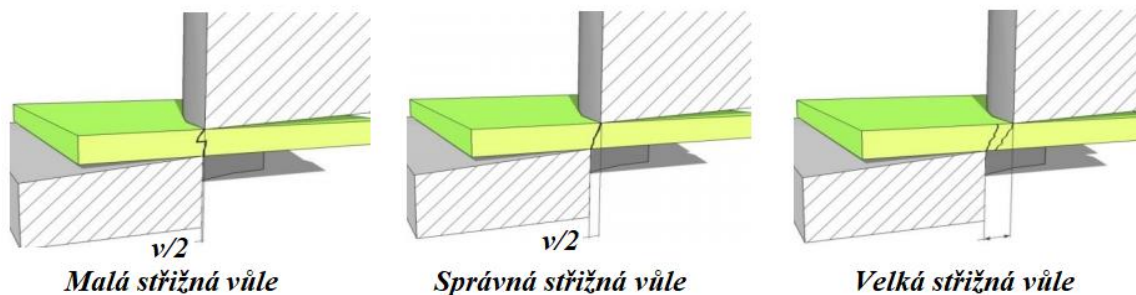
Charakteristický tvar střížné plochy ve tvaru „S“ je dán střížným procesem, mechanickými vlastnostmi materiálu, a především velikostí střížné vůle mezi střížníkem a střížnicí. Při správné volbě střížné vůle vzniká jedna plocha bez vad a je možné popsat různá pásma této plochy dle obr. 12:

- oblast zeslabení – vzniká z důvodu prvotního pružného vniku razníku do materiálu,
- oblast plastického stříhu – vzniká důsledkem plastického působení střížníku do plechu,
- oblast lomu – je rozdělena na dvě oblasti, přičemž vrchní část je prohloubena, spodní část vystupuje,
- oblast otěru – při vystřihování se výstřížek protlačuje střížníkem přes střížnici, čímž vzniká tření a dochází k vytvoření této oblasti,
- oblast zpevnění – při oddělování dochází vlivem vzniku deformace ke zpevnění materiálu. Tato oblast se nachází v blízkosti střížné plochy, její velikost se pohybuje mezi $(20 - 30\%) \cdot s$,
- otřep – vzniká zespodu střížné hrany, zvětšuje se s narůstajícím opotřebením spodního nástroje a se zvyšující se tvárností materiálu,
- vtisk spodního nástroje – se zvyšujícím se úhlem čela spodního nástroje se zvyšuje šance k zatlačení do stříhaného plechu.



Obr. 12 Střížné plochy při normální střížné vůli [19]

Důležitým parametrem při stříhání je střížná vůle. Jedná se o rozdíl velikosti mezi střížníkem a otvorem ve střížnici. Velikost střížné vůle má vliv na kvalitu střížné plochy.



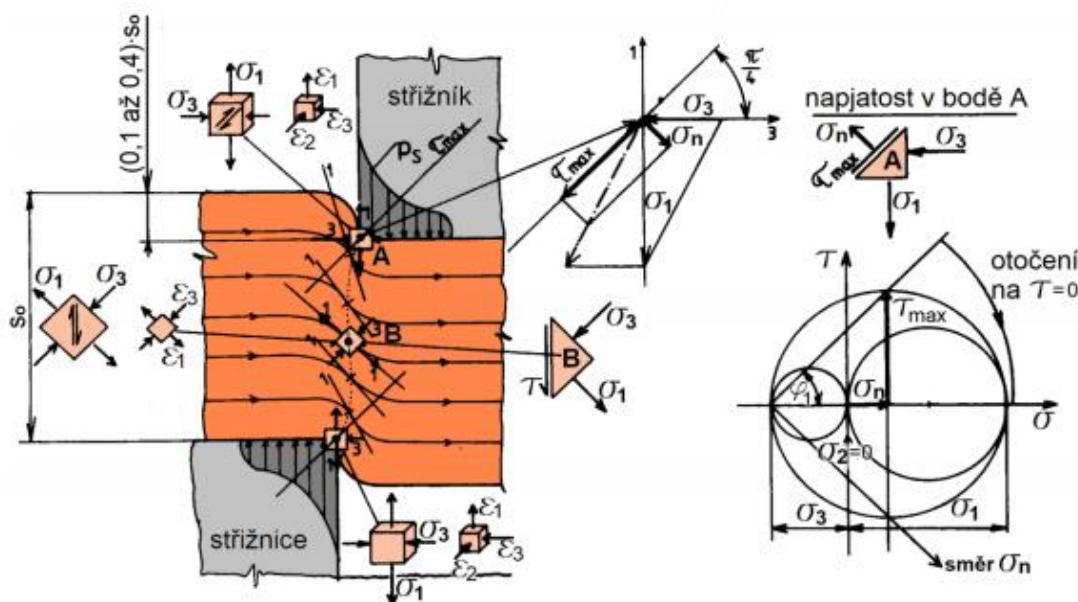
Obr. 13 Střížný proces při různé střížné vůli [22]

Na obr. 13 jsou znázorněny vady vznikající při vystřihování s malou a velkou střížnou vůlí. Jelikož na velikost střížné vůle mají vliv mechanické vlastnosti a tloušťka plechu, je její velikost pro plechy s tloušťkou $s \leq 3 \text{ mm}$ dána vztahem:

$$v = 2 \cdot c_s \cdot s \cdot 0,32 \cdot \sqrt{\tau_s} \text{ [mm]}, \quad (2.1)$$

kde: v – střížná vůle [mm],
 c_s – součinitel střížné vůle (volí se 0,005 – 0,035) [-],
 s – tloušťka materiálu [mm],
 τ_s – pevnost materiálu ve smyku [MPa].

Na obr. 14 je zobrazeno schéma napjatosti a deformace. Při střížném procesu z důvodu vzniku dvojice sil vytvářející moment dochází mezi střížnými hranami k natahování a vytlačování materiálu do stran, čímž dochází k uvolnění místa pro břity. Podélné vrstvy se prodlouží a velmi se mění jejich křivost a dochází ke zmenšení tloušťky materiálu mezi střížníkem a střížnicí.



Obr. 14 Schéma napjatosti a deformace [21]

U volného stříhání se jedná o rovinný stav deformace, platí fyzikální předpoklad daný rovnicí:

$$\varepsilon_2 = \frac{\varepsilon_{ef}}{\sigma_{ef}} \cdot \left[\sigma_2 - \frac{1}{2}(\sigma_1 + \sigma_3) \right] = 0 \quad [-], \quad (2.2)$$

kde: ε_2 – přetvoření v daném směru [-],
 σ_i – napětí v dané ose [MPa],
 ε_{ef} – efektivní přetvoření [-],
 σ_{ef} – efektivní napětí [MPa].

Z této rovnice plyne vztah pro napětí σ_2 :

$$\sigma_2 = \frac{1}{2}(\sigma_1 + \sigma_3). \quad (2.3)$$

V bodě A je u střížné hrany největší tahové napětí σ_1 , které je dáno rovnicí:

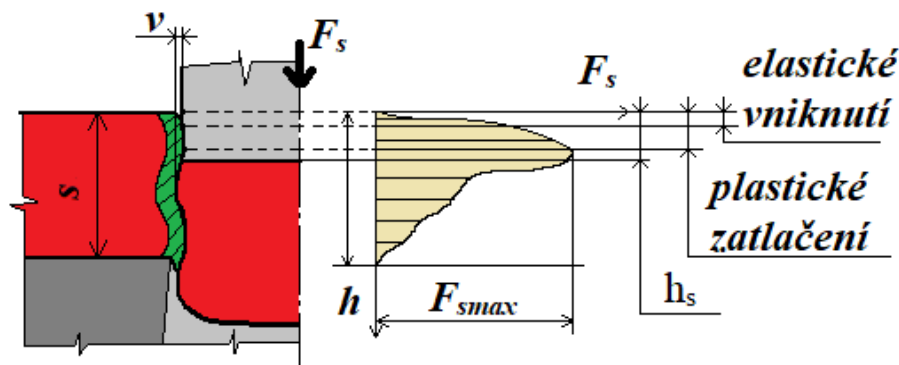
$$\sigma_1 = \frac{4}{3\sqrt{3}} \cdot \sigma_p = \tau_s = 0,77 \cdot R_m \quad [\text{MPa}], \quad (2.4)$$

kde: σ_p – přirozený přetvárný odpor [MPa],
 R_m – mez pevnosti materiálu v tahu [MPa].

Dle praktických zkoušek bylo zjištěno, že hlavní tlakové napětí σ_3 se přibližně rovná polovině napětí σ_1 .

Mezi další parametry procesu stříhání také patří střížná síla a práce. Na obr. 15 je znázorněn průběh střížné síly. V první fázi stříhu dochází k malému elastickému vniknutí střížníku do materiálu a tím k napěchování kovu pod břitem. Střížná plocha se sice zmenšuje, avšak v důsledku lokálního deformačního zpevnění dochází k plynulému nárůstu střížné síly. Nastává mírný pokles až po hloubku vniknutí h_s , kdy dochází k úplnému porušení lomem.

V poslední fázi dochází ke kompletnímu oddělování výstřižku a ke snížení střížné síly. Při oddělování dojde k vzájemnému tření mezi plochami tvaru „S“, a tím pádem se lokálně sníží gradient poklesu střížné síly.



Obr. 15 Průběh střížné síly [19]

Střížnou sílu pro vystřihování nebo děrování je možno vypočítat pomocí vztahu u střížníku s rovnou střížnou hranou:

$$F_{smax} = n \cdot L_s \cdot s \cdot \tau_s [N], \quad (2.5)$$

kde: F_{smax} – střížná síla [N],
 n – součinitel zahrnující vnější podmínky jako nerovnoměrnost tloušťky plechu, napjatosti a otupení střížných hran [-],
 L_s – obvod střížníku [mm].

V důsledku elastické deformace dojde k zachycení materiálu na střížník a je potřeba vypočítat stírací sílu danou vztahem:

$$F_{sti} = F_{smax} \cdot k_{sti} [N], \quad (2.6)$$

kde: F_{sti} – stírací síla [N],
 k_{sti} – součinitel závislý na druhu materiálu a jeho tloušťce (0,05 - 0,15) [-].

Při vysekávání je také nezbytné vyseknutý materiál protlačit skrz střížnici. Tato protlačovací síla je dána vztahem:

$$F_{prot} = F_{smax} \cdot k_{prot} [N], \quad (2.7)$$

kde: F_{prot} – protlačovací síla [N],
 k_{prot} – součinitel závislý na druhu materiálu a jeho tloušťce (0,03 - 0,05) [-].

Celková střížná síla je pak součet střížné, stírací a protlačovací síly a je daná vztahem:

$$F_c = F_{smax} + F_{sti} + F_{prot} [N], \quad (2.8)$$

kde: F_c – celková střížná síla [N].

Pro snížení střížné síly, práce, hlučnosti a otupení se využívají při vysekávání střížníky se šikmou střížnou hranou. Výpočet střížné síly pro střížníky se šikmou hranou je pak dán vztahem:

$$F_{smaxx} = \frac{L_s \cdot s \cdot Rm}{X} [N], \quad (2.9)$$

kde: X – střížný faktor [-].

Hodnoty pro střížný faktor X jsou uvedeny v příloze č.2.

Při výpočtu střížné práce je potřeba brát v úvahu pouze maximální střížnou sílu F_{smax} . Střížná práce se potom vypočítá ze vztahu:

$$A_v = \lambda \cdot F_{smax} \cdot s \quad [J], \quad (2.10)$$

kde: A_v - střížná práce [N],

λ - koeficient plnosti diagramu (0,4 – 0,7) [-].

2.1.2 Nástřihový plán [20], [22], [24], [25], [26]

Nástřihový plán představuje způsob rozmístění výstřížků na polotovaru, tedy plechovém pásu nebo tabuli. Slouží především k dosažení maximálního využití materiálu i k dosažení různých technologických požadavků, ať už na přesnost, rozmístění vláken a podobně. Při větších sériích výrobků je velmi důležité mít vytvořený co nejvhodnější nástřihový plán z důvodu minimalizace odpadů, ale také snížení celkového výrobního času, proto je nutné vytvořit takový nástřihový plán, aby bylo využito co největší plochy tabule nebo plechových pásů.

Nástřihový plán se dělí na kusový, kdy bývá množství odpadu zanedbatelné, a skupinový, při kterém se provádí vysekávání různých tvarů a součástí jednoho výrobku.

Hospodárnost stříhání je určena součinitelem využití materiálu, který je dán vztahem:

$$\eta_{mat} = \frac{S_0}{S_p} = \sum_i^n \frac{S_{soui} \cdot n_i}{S_p} \quad [-], \quad (2.11)$$

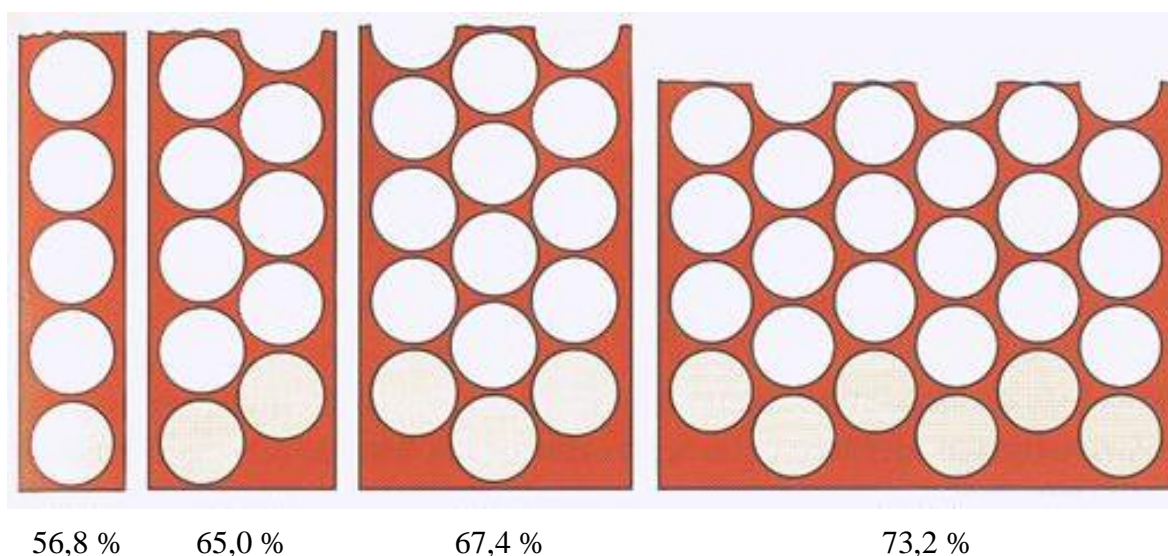
kde: η_{mat} - součinitel využití materiálu [-],

S_0 - celková plocha výstřížků [mm^2],

S_p - plocha plechové tabule či pásu [mm^2],

S_{soui} - plocha určité součásti [mm^2],

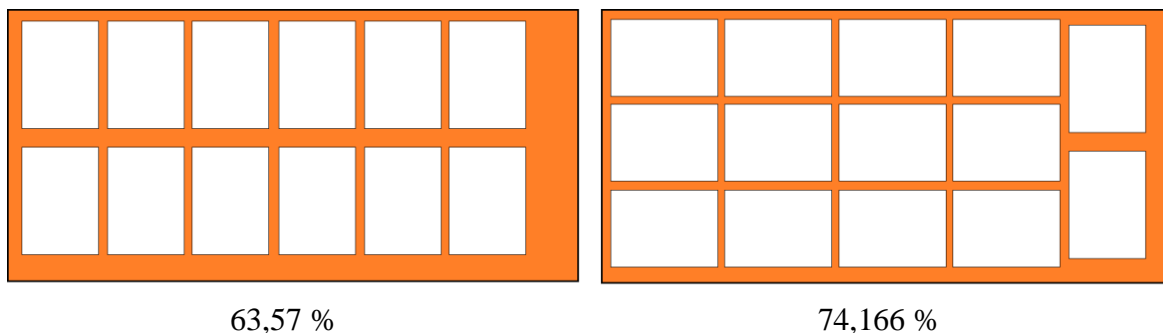
n_i - množství jednoho typu součásti [-].



Obr. 16 Nástřihové plány pro kruhové výrobky [24]

Na obr. 16 je zobrazené využití materiálu na různých šířkách pásů u kruhových výrobků. Z obrázku je patrné, že u kruhových součástí se dá dosáhnout využitelnosti tabule kolem 70 %.

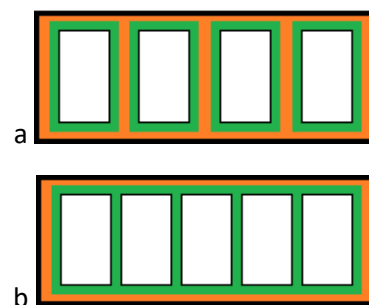
Nejvyšší minimalizace odpadu se dosahuje u čtvercových a obdélníkových součástí. Díky možnostem vysekávání a otočným nástrojům je možné dosáhnout vyššího využití tabule, což je znázorněno na obr. 17.



Obr. 17 Nástřihové plány pro obdélníkové výrobky [20]

Pro dodržení požadované přesnosti je nutné mezi výstřižky vytvořit přepážku. Tento způsob se nazývá metoda vysekávání se zbytkovou mříží (obr. 18a). Šířka přepážky je závislá na tvaru výstřižku, druhu materiálu, tloušťce plechu a podobně. Prakticky musí být přepážka dostatečně široká tak, aby nedocházelo při stříhu jedné součásti k deformaci vedlejší součásti.

Při vysekávání bez vyšších požadavků na přesnost je možné tuto zbytkovou mříž vyřadit. Tento způsob se nazývá metoda vysekávání bez zbytkové mříže (obr. 18b). Znázorněná zelená barva na obr. 18 představuje dráhu nástroje.



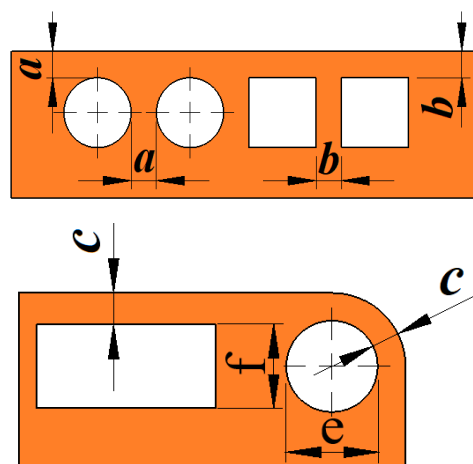
Obr. 18 Metody vysekávání [20]

2.1.3 Technologičnost vysekávaných součástí [21], [23], [24], [27]

Součásti vyráběné vysekáváním musí být konstrukčně navrženy tak, aby splňovaly určitá kritéria jako je vysoká využitelnost materiálu, přiměřené nároky na kvalitu povrchu, přesnost, co nejmenší počet a složitost operací, co nejkratší výrobní časy a podobně.

Důležitým faktorem při vysekávání je směr vláken ve zpracovávaném plechu. Při válcování plechů dochází ke vzniku usměrněné textury plechu, což má vliv na mechanické vlastnosti materiálu v různých směrech, vzniká anizotropie. Tento směr vláken je potřeba uvažovat zejména pro další operace jako je například ohýbání nebo tažení. Je potřeba, aby byl ohyb kolmý na směr vláken či se směrem vláken svíral úhel alespoň 45° .

Také je potřeba brát ohled na kritické vzdálenosti mezi otvory, vzdálenosti otvorů od okraje výstřižků a minimální rozměry otvorů (obr. 19). Tyto kritické hodnoty jsou zobrazeny na obr. 17, kde $a = 0,8 \cdot s$, $b = s$, $c = 1,5 \cdot s$, $e = 1 \cdot s$, $f = 0,8 \cdot s$.

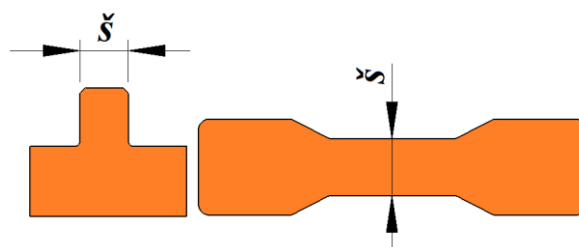


Obr. 19 Kritické rozměry [20]

Také šířka vyčnívajících částí výrobků a nejmenší šířka štíhlých výstřížků by měla být alespoň $s = 1,5 \cdot s$, jak je zobrazeno na obr. 20.

Mezi další pravidla při konstrukci výstřížků patří:

- bezdůvodné zužování velikostí tolerancí rozměrů není vhodné,
- nepředepisovat kvalitu povrchu a kolmost střížné plochy k ploše plechu, pokud střížná plocha není funkční plochou,
- nejmenší velikost otvoru, který lze prostříhnout, je závislá na druhu materiálu a tloušťce plechu,
- je vhodné upřednostňovat otvory kruhového průřezu,
- je doporučené, aby rohy na výstřížku byly zaoblené či sražené.

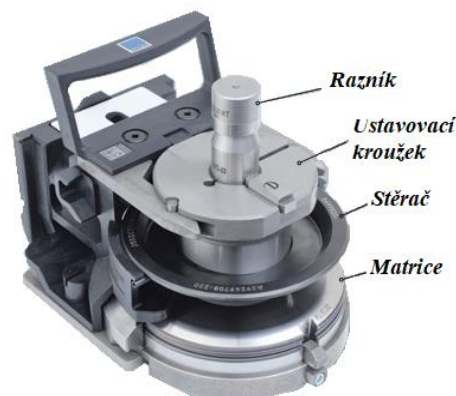


Obr. 20 Minimální rozměry šířek [20]

2.1.4 Vysekávací nástroje a operace [25], [26], [28]

Při klasickém stříhání je využíváno většinou tzv. postupových stříhadel, které jsou určeny pro jednu činnost. Vysekávání je mnohem univerzálnější, jelikož je možné vytvářet díky několika nástrojům umístěným v zásobníku vysekávacího stroje výrobky různých tvarů na základě programu vytvořeném v určité programovací aplikaci. Nástroje používané na vysekávacích strojích se dělí na:

- děrovací a dělicí – slouží k vytvoření vnitřních otvorů a vnějších tvarů,
- tvářecí – používají se pro různé tvářecí operace jako je vytváření závitů, zahlbubení, krátkých ohybů a podobně,
- válečkovací – jsou vhodné pro prosazovací, drážkovací, vyřezávací a vyštipovací operace,
- popisovací a značící – slouží k vytvoření popisů či značek na materiál.



Obr. 21 Nástrojová sestava [26]

Vysekávací nástrojová sestava, která je upnuta v nástrojové kazetě (obr. 21), je složena ze čtyř hlavních komponent:

- razník (obr. 22) – je vrchní pohyblivou částí nástroje, jeho konstrukce je podobná jako u střížníku. Vrchní část je tvořena upínacím trnem, spodní část střížnou hranou. Razníky jsou napevno upnuty v ustavovacím kroužku. Razníky se dělí dle tvaru střížné hrany na razníky ploché, razníky se šikmou hranou a razníky s tvarem do střechy. Mezi výhody šikmých razníků se řadí snížení maximální střížné síly, snížení hluku a otupení nástroje. Tyto výhody plynou z postupného najíždění nástroje do materiálu, což způsobuje snížení rychlosti nárůstu střížné síly. Při vznikajícím otupení je možné razníky přebroušovat, avšak maximálně o 3 mm. Razníky je také možné vyrobit v prodlouženém stavu, což umožňuje zvýšit přebroušení razníků až o 3 mm. Tvary razníků nabízené firmou TRUMPF jsou uvedené v příloze č. 3,



Obr. 22 Razníky [26]

- ustavovací kroužek (obr. 23) – jeho funkce spočívá v upnutí razníku a v přenášení střížné síly na razník. Díky drážce vytvořené v jedné polovině je možné dosáhnout jeho rozevření a tím pádem upnout razníky o různých průměrech jejich upínacích trnů,
- stěrač (obr. 24) – jedná se o prvek nacházející se mezi razníkem a matricí. Plní tři základní funkce. Jedná se o stírání tabule při pohybu razníku zpět do vrchní pozice, aby materiál nezůstal při zpětném chodu přichycen k razníku, dále vykonává funkci přidržovače a je ho také možné využít pro dočasné upnutí materiálu. Této funkce se využívá u příliš velkých tabulí, kdy není možné tabuli zpracovat na jedno upnutí kvůli omezenému pracovnímu rozsahu. Stěrač materiál přitlačí, otevřou se klapky držící plechovou tabuli, ty přejedou do jiné pozice, aby bylo možné zpracovat zbytek materiálu, klapky se poté uzavřou a vysekávání pokračuje. Z důvodu vibrací razníku je nutné, aby mezi razníkem a otvorem ve stěrači byla vůle, jinak by došlo k roztržení stěrače razníkem,
- matrice (obr. 25) – je spodní část nástroje, protikus k razníku a plní stejnou funkci jako u stříhání střížnice. Mezi otvorem v matrici a razníkem musí být střížná vůle, aby docházelo k oddělování materiálu bez vad na odděleném povrchu. Při vznikajícím opotřebením matrice je možné přebroušení pro zvýšení její životnosti maximálně o 1 mm. Matrice se upíná do spodního nástrojového adaptéru, který je umístěn ve spodní části pracovního stolu.



Obr. 23 Ustavovací kroužek [26]

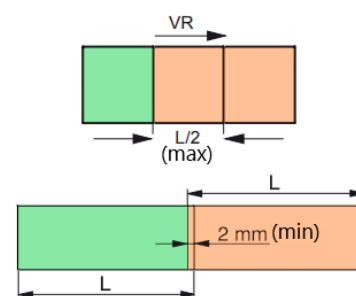


Obr. 24 Stěrač [26]



Obr. 25 Matrice [26]

Klasická vysekávací metoda vysekávání obrysu výstřižku je niblování. Jedná se o dělicí metodu, při níž dochází k postupnému vysekávání několika navzájem se překrývajících otvorů. Tato metoda postupně vede až k úplnému vysekání požadovaného dlouhého a složitého tvaru součásti. Velikost kroků při niblování je závislá především na tloušťce zpracovávaného plechu, mechanických vlastnostech materiálu a rozměrech nástroje. Maximální a minimální překrytí obdélníkových otvorů při niblování je zobrazeno na obr. 26. Minimální velikost kroku nástroje je potom dána vztahem (2.12) a maximální velikost kroku nástroje se určuje podle rovnice (2.13).



Obr. 26 Niblování [26]

Minimální velikost kroku nástroje u obdélníkových otvorů:

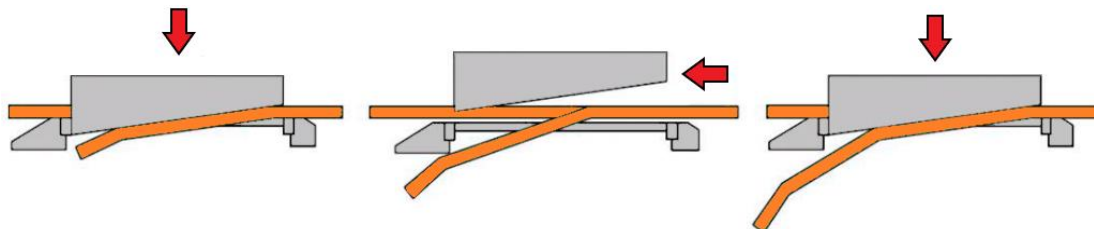
$$Spp_{min} = \frac{L}{2} [mm]. \quad (2.12)$$

Maximální velikost kroku nástroje u obdélníkových otvorů:

$$Spp_{max} = L - 2 [mm]. \quad (2.13)$$

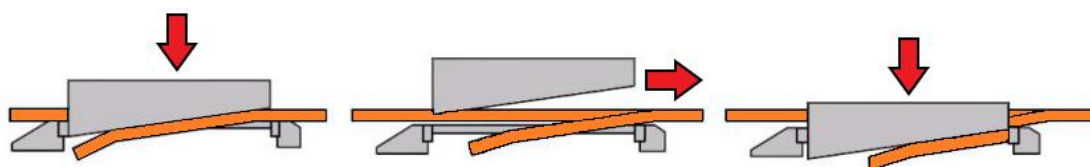
Další dělicí metodou u vysekávání je slitting (obr. 27). Pro vytváření dlouhých rovných hran je vhodnější než niblování. Nástroj používaný u této metody má pravoúhelníkový úzký tvar a jeho střížná hrana je zkosená. Princip metody spočívá v postupném částečném oddělování materiálu. Cyklus oddělování probíhá ve třech krocích, kdy při prvním kroku

zkosený nástroj částečně odděluje materiál, přičemž k úplnému oddělení dojde jen na jedné straně. Poté je proveden zdvih nástroje a materiál je přesunut tak, aby se neoddělená část vysekávaného pruhu nacházela uvnitř profilu nástroje. Ve třetím kroku se provede sjezd razníku do materiálu, který se opět částečně oddělí. Operace se opakuje, dokud se nevytvoří úplný požadovaný rovný úsek na výrobku. Vzniká tak rovná hrana, která je kvalitnější než po niblování.



Obr. 27 Metoda slitting [28]

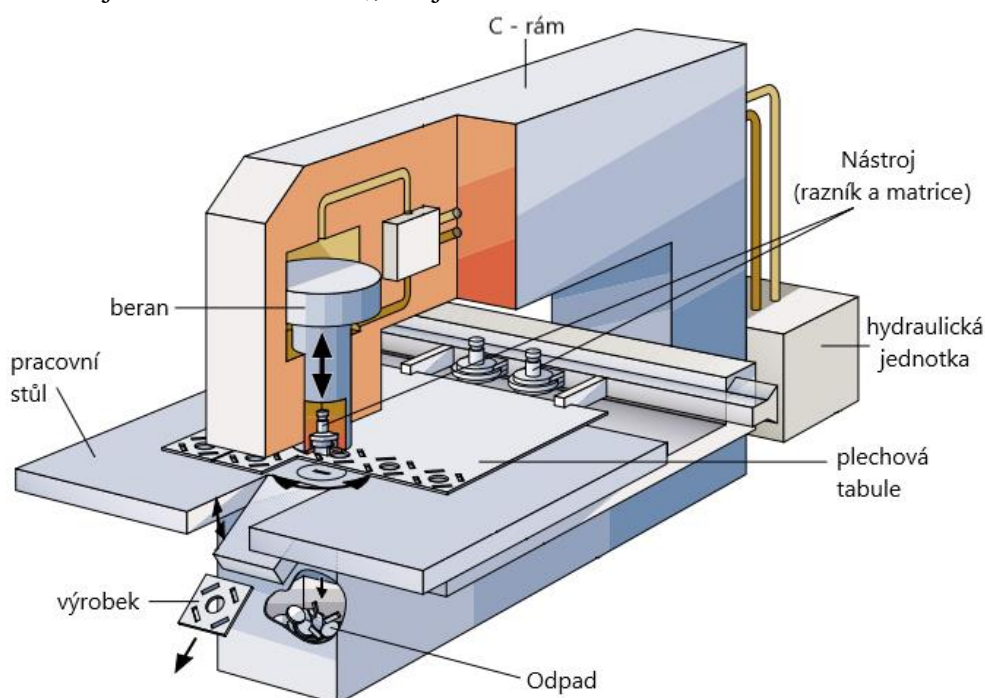
Při tomto procesu však vzniká odpad ve tvaru dlouhého ohnutého pásku. Pro odstranění vzniku tohoto typu odpadu byla vytvořena metoda multishear (obr. 28). První krok tohoto způsobu vysekávání je stejný jako u metody slotting. Při dalším kroku dojde k posunutí materiálu tak, že se část vystřiženého pruhu nachází mimo průřez nástroje. V posledním kroku dochází ke sjezdu razníku do materiálu a provede se kompletní oddělení nastřižené části materiálu. Zbylá část odděleného proutku se přesune pod nástroj a proces se opakuje.



Obr. 28 Metoda multishear [28]

2.1.5 Vysekávací stroje [18], [25], [26], [28], [29], [30], [31]

Vysekávací stroje od jednotlivých výrobců jsou konstrukčně odlišné. Zjednodušený popis vysekávacího stroje s rámem ve tvaru „C“ je uveden na obr. 29.



Obr. 29 Vysekávací stroj s C- rámem [29]

Základním konstrukčním prvkem je rám, jehož nejdůležitější vlastnosti jsou tuhost a stabilita, aby byl schopen vydržet vysoké tvářecí síly. Také musí být odolný vůči vibracím a kmitům, jelikož vysekávací proces je hodně dynamický. Rámy pro vysekávací stroje se vyrábí ve dvou provedeních:

- C - rám (obr. 30) – například od firmy TRUMPF, má vysokou torzní tuhost a zároveň poskytuje dobrý přístup obsluze ke stroji, lineárnímu zásobníku nástrojů a umožňuje vhodné zakládání tabulí plechu,
- O - rám (obr. 31) – například od firmy PrimaPower, má významně vyšší tuhost než C – rám, avšak umožňuje přístup ke stroji jen ze dvou stran, takže výměna a manipulace s nástroji je podstatně delší, což zvyšuje celkové výrobní časy.



Obr. 30 Stroj s C – rámem [18]



Obr. 31 Stroj s O – rámem [30]

Další základní částí stroje je vysekávací hlava. Podle způsobu řízení beranu se dělí na elektrickou a hydraulickou (obr. 32).

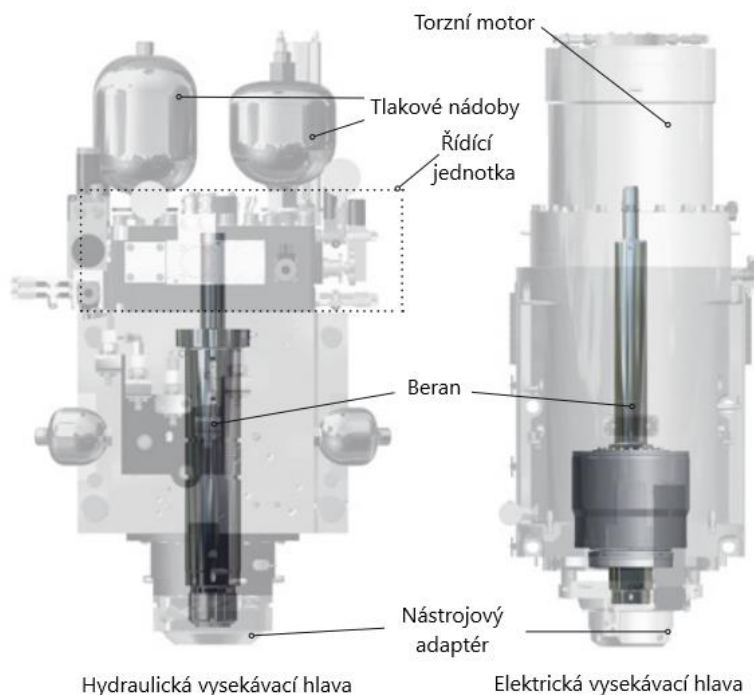
U elektrických hlav torzní motor zajišťuje rotační pohyb, který je přenášen na translační pohyb beranu. Mezi výhody se řadí nízká energetická náročnost, oproti hydraulickým hlavám zabírají méně prostoru, tím pádem je nižší složitost konstrukce, pracují tišším chodem, odpadá nutnost použití hydraulického oleje.

Hydraulické hlavy fungují na základě uzavřeného dvou-otokového vysokotlakého hydraulického systému, kde proudí hydraulický olej.

Jelikož jsou vysekávací hlavy vybaveny osou C, je možná rotace všech nástrojů o 360 °. Rotaci nástrojů provádí ozubené soukolí.

Beran ve vysekávacích hlavách je schopen provést až 1400 zdvihů za minutu a při značení dokonce až 2800 zdvihů za minutu. Do nástrojového adaptéru se upíná stěrač a razník.

Při zpracování plechů také probíhá mazání za pomoci stlačeného vzduchu, který mezi nástroj a materiál vstřikuje olej, což vede ke snížení tření, a je dosaženo nižšího opotřebení nástrojů.



Obr. 32 Vysekávací hlavy [26]

Dalším prvkem je lineární zásobník nástrojů (obr. 33) zajišťující možnost využití více nástrojů při zpracování plechu. Jsou zde upnuty nástrojové kazety s nástroji. Na lineární zásobník se také umísťují programovatelné klapky, které poté provádějí pohyb materiálu v pracovním prostoru. Kolem programovatelných klapků je nutné určit bezpečnou zónu, kde není možné provádět vysekávací operace, aby bylo zabráněno kolizím nástroje s klapkami.

Pracovní stůl je nezbytnou součástí vysekávacího stroje, během vysekávání zajišťuje podporu pro plechové tabule, minimalizuje vibrace a prohnutí. Aby se snížilo poškrábání plechových výrobků, jsou pracovní stoly vybaveny kuličkovými ložisky či kartáčky.

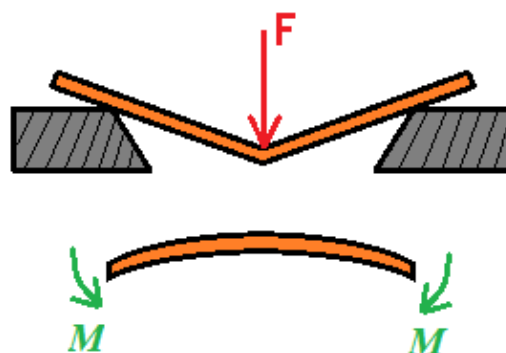
Pohybový systém stroje umožňuje pohyb ve dvou osách, čímž je umožněn pohyb vysekávací hlavy po celém povrchu vysekávaného plechu.



Obr. 33 Lineární zásobník [31]

2.2 Ohraňování [16], [17], [19]

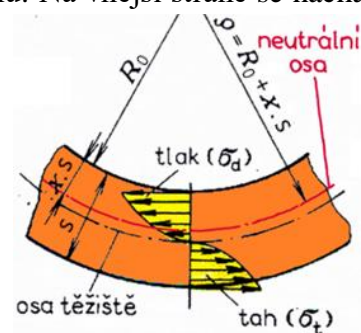
Při ohraňování platí podobné zásady a principy jako u běžného ohýbání. Jedná se o proces tváření, kdy vlivem působení lokálních sil nebo ohybových momentů (obr. 34) dochází k trvalé deformaci materiálu do různých úhlů ohybu se zaoblením hran. Polotovarem pro ohraňování je obvykle plech, ale někdy i tyče a dráty. Technologie se řadí do plošného tváření, jelikož při procesu nedochází k podstatné změně průřezu. Na rozdíl od objemového tváření jsou u ohraňování rozhodujícím parametrem tahová napětí. K ohraňování se používá nástroje složené z matrice (nepohyblivá spodní lišta) a razníku (pohyblivá vrchní lišta). Vytvoření ohybů využívá zákony plasticity stejně jako další způsoby tváření. Jedná se o překročení meze kluzu, čímž dojde ke vzniku požadované plastické deformace, kterou však doprovází elastická deformace a po zatížení je tedy ohyb doprovázen odpružením.



Obr. 34 Schéma ohybu momentem a osamělou silou [19]

2.2.1 Rozbor ohraňovacího procesu [16], [17], [19], [23], [31], [32], [33]

Na obr. 35 je znázorněn stav napjatosti v ohýbaném materiálu. Na vnější straně se nachází tahová napětí a na vnitřní straně napětí tlaková. Oblast ve střední části ohýbaného průřezu je oblastí, kde napětí nedosahuje meze kluzu materiálu, proto zde nastává pouze pružná deformace, která má za následek odpružení. V průřezu se nachází tzv. neutrální plocha, kde dochází ke změně tahových napětí na tlaková. V této ploše nedochází k natahování ani stlačování vláken a napětí je zde rovno nule. Neutrální plocha se po ohybu nachází přesně ve středu průřezu pouze při ohýbání s velkými rádiusy ohybu, je-li poměr $R_0/s > 12$. Při ohýbání, kdy je $R_0/s < 6$ se pak tato plocha posouvá směrem k vnitřnímu poloměru ohybu.

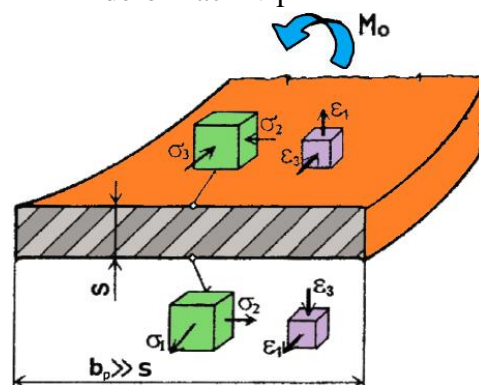


Obr. 35 Stav napjatosti při ohýbání [16]

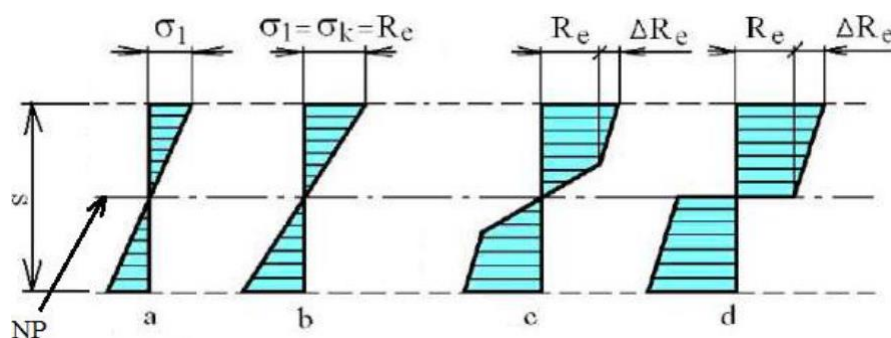
Při ohýbání je nutné znát výchozí rozměry průřezu polotovaru, aby bylo možné posoudit stav napjatosti. V závislosti na těchto rozměrech mohou při ohýbání nastat dva odlišné stavy napjatosti a deformace a to ohýbání úzkých tyčí a ohýbání širokých pásů.

Při ohýbání širokých pásů (obr. 36) se jedná o stav, kdy šířka b_p je mnohem větší než tloušťka s . V tomto případě při ohýbání nedochází k deformaci v příčném směru, tedy $\varepsilon_2 = 0$ a ze zákona zachování objemu pak vyplývá, že $\varepsilon_1 = -\varepsilon_3$. Na vnitřní straně ohýbaného pásu je poté jednoosá tlaková napjatost, na vnější straně jednoosá tahová.

Proces ohýbání se dle průběhu napětí dělí na několik fází. Při počáteční fázi je napětí tak nízké, že dochází pouze k pružné deformaci (obr. 37a), pro kterou platí Hookův zákon. Napětí se zvyšuje až na mez kluzu (obr. 37b), kdy nastává druhá fáze ohybu a první plastická deformace. Ta začíná v krajních vláknech. Při zvyšování ohybového momentu velikost deformace a napětí po průřezu neustále roste vlivem deformačního zpevnění. Se zvyšováním ohybového momentu se postupně zvyšuje oblast plastické deformace na úkor deformace elastické (obr. 37c). Po dosažení maximálního ohybového momentu dojde ke kompletnímu rozšíření plastické deformace po celém průřezu, elastická deformace zmizí a je eliminováno odpružení (obr. 37d).



Obr. 36 Ohýbání širokých pásů [19]



Obr. 37 Rozložení napětí v průřezu ohýbaného polotovaru [31]

Při uvažování ohýbání širokých plechů je přetvoření ve směru šířky ztíženo. Ve střední části plechu k přetvoření nedochází a $\varepsilon_2 = 0$. Potom musí ze zákona zachování objemu platit $\varepsilon_1 = -\varepsilon_3$. Zamezení této změny šířky při ohybu lze dosáhnout napětím σ_2 , které lze určit z fyzikální rovnice pro $\varepsilon_2 = 0$ a $\sigma_3 = 0$.

$$\sigma_2 = \frac{1}{2} \cdot \sigma_1 \text{ [MPa]}. \quad (2.14)$$

Pomocí podmínky plasticity pro rovinný stav napjatosti, kdy $\sigma_3 = 0$ platí vztah:

$$\sigma_1 = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot R_e \text{ [MPa]}, \quad (2.15)$$

kde: R_e – mez kluzu [MPa].

Ohybový moment v počáteční fázi ohybu je možné stanovit rovnicí:

$$M_{oel} = \frac{b_p \cdot s^2}{6} \cdot \frac{2}{\sqrt{3}} R_e \text{ [N} \cdot \text{mm]}, \quad (2.16)$$

kde: M_{oel} – elastický ohybový moment [N·mm],

b – šířka pásu [mm],

s – tloušťka pásu [mm].

Ohybový moment po dosažení meze kluzu je popsán vztahem:

$$M_{opl} = \frac{b_p \cdot s^2}{4} \cdot \frac{2}{\sqrt{3}} R_e \text{ [N} \cdot \text{mm]}, \quad (2.17)$$

kde: M_{opl} - plastický ohybový moment [N·mm].

Na obr. 38 je znázorněn průběh ohybové síly. Je možné rozdělení na tři oblasti:

- I – oblast pružného ohybu,
- II – oblast plastického ohybu,
- III – oblast kalibrování.

Ohybovou sílu potřebnou pro ohnutí je možné stanovit pomocí ohybového momentu vnějších sil, jenž se rovná momentu vnitřních sil. Aby bylo možné určit moment vnitřních sil, je nutné znát přesný průběh vnitřních napětí v ohýbaném průřezu.

Při ohybu do tvaru „V“ se uvažuje, že je ohýbaný pás nosník na dvou podporách, jejichž vzdálenost od sebe je L_p . Nosník je uprostřed zatížen ohybovou silou F_o , a moment vnějších sil je potom dán vztahem:

$$M_o = \frac{1}{4} \cdot F_o \cdot L_p \text{ [N} \cdot \text{mm]}, \quad (2.18)$$

kde: M_o - ohybový moment [N·mm],

F_o - ohybová síla [N],

L_p - vzdálenost mezi podporami [mm].

Po dosazení ohybového momentu (2.17) do rovnice (2.18) a její úpravou se získá výpočet pro určení velikosti ohybové síly pro ohnutí širokého pásu:

$$F_o = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \frac{b_p \cdot s^2 \cdot R_e}{L_p} \text{ [N]}. \quad (2.19)$$

Jelikož se v průběhu ohýbání síla mění, je určeno, že práce je rovna součinu poloviny síly a dráhy nástroje. Práce je potom stanovena vztahem:

$$A_o = \frac{1}{2} \cdot F_o \cdot h_r \text{ [J]}, \quad (2.20)$$

kde: A_o - ohybová práce [J],

h_r - dráha razníku [mm].

Pro rychlé určení velikosti ohraňovací síly do tvaru „V“ se v praxi používá vztahu:

$$F_{ohr1} = \frac{R_m \cdot s^2}{V} \cdot \left(1 + \frac{4 \cdot s}{V}\right) \text{ [kN} \cdot \text{m}^{-1}], \quad (2.21)$$

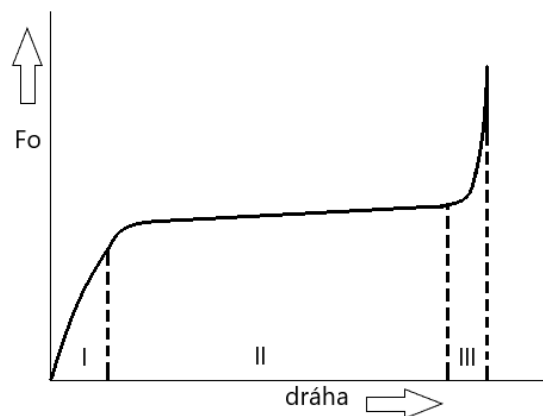
kde: F_{ohr1} - ohraňovací síla [kN·m⁻¹],

V - optimální otevření matrice [mm].

Ohraňovací sílu je také možné určit pomocí tabulky uvedené v příloze č. 4, kdy je úhel ohybu 90° a mez pevnosti materiálu 450 MPa. Pro tento typ určení je nutné znát tloušťku materiálu, nejkratší rovný úsek, optimální otevření matrice a vnitřní poloměr ohybu.

Při ohraňování jsou další důležité parametry, které je nutné stanovit, aby bylo možné dosáhnout požadovaných výsledků u výrobku.

Pro určení výchozích rozměrů polotovaru pro ohýbání je nutné znát polohu neutrální vrstvy deformace. Pokud se jedná o malé pružně-plastické deformace a velké poloměry



Obr. 38 Schéma ohybu momentem a osamělou silou [23]

zaoblení R_o , kdy $R_o/s > 12$, je možný předpoklad průchodu neutrální vrstvy středem tloušťky výchozího polotovaru a poloměr neutrální vrstvy bude dán rovnicí:

$$\rho = R_o + \frac{s}{2} \quad [mm], \quad (2.22)$$

kde: ρ – poloměr neutrální vrstvy [mm],
 R_o – vnitřní poloměr zaoblení [mm].

Jelikož se však ve většině případů v ohybovém nástroji provádí ohyby s malým poloměrem zaoblení, kde $R_o/s \leq 6$, dojde k posunutí neutrální vrstvy k vnitřní straně ohybu a ohyb je doprovázen změnou tloušťky. Poloměr neutrální vrstvy deformace je možné stanovit z rovnice:

$$\rho = R_o + \frac{(R - R_o)}{2} \cdot z_z \cdot z_r \quad [mm], \quad (2.23)$$

kde: R – vnější poloměr zaoblení [mm],
 $z_z = s_1/s$ – součinitel ztenčení [-],
 $z_r = b_{p1}/b_p$ – součinitel rozšíření [-],
 s_1, s, b_{p1}, b_p – tloušťka a šířka materiálu před a po ohnutí [mm].

Součinitel ztenčení z_z je závislý především na tvárnosti materiálu, úhlu ohybu, stupni deformace a tření. U měkkých materiálů o tlustých průřezích se obvykle pohybuje od $z_z = 0,820$ až $0,995$.

Jelikož při ohýbání širokých pásů nedochází k deformaci v příčném průřezu, je součinitel $z_r = 1$. V případě úzkých pásů, kdy $b_p \leq 3s$, se pak stále z_r od jedné liší minimálně, např. pro měkkou ocel $z_r = 1,05$.

Při zpracovávání širokých pásů se prakticky poloměr neutrální vrstvy určuje za pomoci součinitele x . Poloměr neutrální vrstvy je potom daný vztahem:

$$\rho = R_o + xs \quad [mm], \quad (2.24)$$

kde: x – koeficient vyjadřující posunutí neutrální vrstvy [-].

Součinitel x je závislý na poměrném rádiu ohybu R_o/s . Se zvětšujícím se poměrným rádiem se zvyšuje součinitel x , jak je možné znázorněné na obr. 39.

Poloměr neutrální vrstvy je nutné znát především k určení délky ohnuté části l_o . Ta je přibližně stanovena jako délka neutrální vrstvy mezi řezy začátku a konce ohybu. Délka ohnuté části je potom vypočtena pomocí vztahu:

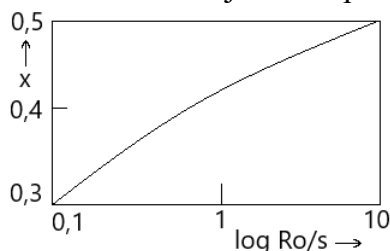
$$l_o = \frac{\pi \cdot \gamma}{180} \rho \quad [mm], \quad (2.25)$$

kde: l_o – délka ohnuté části [mm],
 γ – úhel ohybu [°].

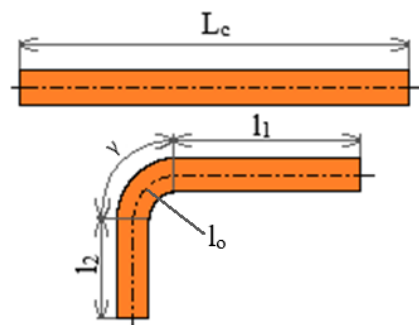
Rozměry před a po ohybu jsou zobrazeny na obr. 40. Sečtením všech délek oblouků a rovných úseků je získána délka výrobku v rozvinutém tvaru (polotovaru pro ohýbání):

$$L_c = \sum_{i=1}^n l_i + \sum_{j=1}^m l_o \quad [mm], \quad (2.26)$$

kde: L_c – Celková délka součásti [mm],
 l_i – délky rovných úseků [mm].



Obr. 39 Závislost $x=f(R_o/s)$ pro $\gamma = 90^\circ$ [23]



Obr. 40 Rozměry ohýbané součásti [23]

Ztenčení pásu se vypočítá z rovnice:

$$z = \frac{s^3}{4(2R_o + s)^2} [mm], \quad (2.27)$$

kde: z – ztenčení pásu [mm].

Ze vztahu (2.26) vyplývá, že se zvětšováním poloměru ohybu dochází ke snižování ztenčení. Při dostatečně velkém poloměru ohybu (uvádí se $R_o/s > 4$), pak ke ztenčení nedochází.

Neutrální vrstva napětí se však od neutrální vrstvy deformace mírně liší a je možno ji určit ze vztahu:

$$\rho_n = \sqrt{R_o \cdot R} [mm], \quad (2.28)$$

kde: ρ_n – poloha neutrální vrstvy napětí [mm],

R – vnější poloměr ohybu [mm].

Dalším důležitým parametrem při ohýbání je minimální a maximální poloměr ohybu. Vytváření pružně plastického ohybu může probíhat až do minimálního poloměru ohybu, jeho další zmenšení vede k porušení na vnější tahové straně výrobku. Proto je tečné tahové napětí u ohýbání rozhodující, jelikož po dosažení meze pevnosti dochází k porušení.

Minimální poloměr ohybu je závislý především na charakteristikách plastičnosti, anizotropii materiálu polotovaru, tloušťce a kvalitě povrchu. Také je ovlivněn úhlem ohybu, způsobem ohýbání a šířkou ohýbaného polotovaru.

Součinitel ztenčení lze určit z grafické závislosti pro ohýbání tlustostěnných průřezů z měkké oceli na hodnotu 90° .

Zjednodušeně lze uvažovat pouze vliv plastičnosti a vyjít z mezního prodloužení, při tomto prodloužení dochází k dosažení meze pevnosti a dojde k porušení materiálu. Deformace v krajních vláknech je pak stanovena pomocí rovnice:

$$\varepsilon_{max} = \frac{(R_o + s) - \left(R_o + \frac{s}{2}\right)}{R_o + \frac{s}{2}} = \frac{s}{2R_o + s} [-], \quad (2.29)$$

kde: ε_{max} – maximální deformace v krajních vláknech [-].

Minimální rádius ohybu je poté z této rovnice dán vztahem:

$$R_{min} = \frac{s}{2} \cdot \left(\frac{1}{\varepsilon_{max}} - 1\right) = c \cdot s [mm], \quad (2.30)$$

kde: c – součinitel (jeho hodnota pro měkké oceli $c = 0,5$ až $0,6$) [-].

Pro dosažení minimálního rádiusu je nezbytné, aby plechové výstřižky byly do ohraňovacího lisu zakládány tak, že vzniklá ostrina bude na vnitřní straně ohybu. Hodnota minimálního rádiusu se u technických materiálů pohybuje v intervalu $(0 \text{ až } 8) \cdot s$, avšak je doporučeno ji využívat jen v nezbytných případech. Pokud je to možné, je vhodné vytvářet rádius ohybu o 10 až 20 % větší.

Maximální poloměr ohybu je takový, při kterém dochází na tahové straně k počátku trvalé plastické deformaci. Pokud by nebylo dosaženo alespoň maximálního poloměru ohybu, došlo by vlivem pružné deformace k narovnání polotovaru. Z rovnice (2.26) a Hookova zákona je možné vyjádřit kritickou poměrnou deformaci vztahem:

$$\varepsilon_{min} = \frac{R_e}{E} = \frac{s}{2R_{max} + s} [-], \quad (2.31)$$

kde: ε_{min} – minimální deformace v krajních vláknech [-],

E – modul pružnosti v tahu [MPa].

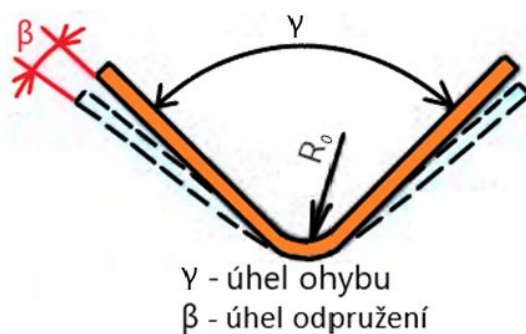
Maximální poloměr ohybu je poté vyjádřen rovnicí:

$$R_{max} = \frac{s}{2} \cdot \left(\frac{E}{R_e} - 1 \right) [mm]. \quad (2.32)$$

Po ukončení ohybu a vyjmutí výrobku z nástroje dochází k odpružení materiálu, které je způsobeno pružnou deformací, a dochází ke zvětšení úhlu ohybu. Je proto nutné při konstruování ohýbadel brát na odpružení ohled a navrhovat je tak, aby vytvářela ohyby s menšími úhly o hodnoty odpružení.

Jak je dokumentováno na obr. 41, u ohybu do tvaru „V“ dochází po odtížení ke zvýšení úhlu γ o úhel β . Vratný děj o úhel β byl vytvořen podle teorie pružnosti ohybovým momentem M_{oel} při dané ohybové tuhosti „ EJ “.

Velikost odpružení je závislá především na pružných vlastnostech materiálu, stupni deformace, úhlu ohybu, ale také na tloušťce pásu a poloměru ohybu. Odpružení je také závislé na deformačním zpevnění a v závislosti na geometrických poloměrech ohybu lze dosáhnout i nulových či záporných odpružení.



Obr. 41 Odpružení po ohybu [16]

Velikost odpružení se v praxi zjišťuje několika způsoby, jedním z nich je například způsob dle grafu uvedeného v příloze č. 5, kdy je odpružení určeno pomocí součinitele K :

$$K = \frac{\gamma_2}{\gamma_1} = \frac{R_0 + 0,5 \cdot s}{R + 0,5 \cdot s} [mm], \quad (2.33)$$

kde: K – součinitel odpružení [-],
 γ_1 – úhel ohybu před odpružením [°],
 γ_2 – úhel ohybu po odpružení [°].

Další možností zjištění úhlu odpružení β pro ohyb ve tvaru „V“ je pomocí empirických vztahů:

$$tg\beta = 0,375 \frac{V \cdot R_e}{k \cdot s \cdot E} [-], \quad (2.34)$$

kde: β – úhel odpružení [°],
 R_e – mez kluzu [MPa],
 k – součinitel zohledňující polohu neutrální vrstvy ($k = 0,5$ až $0,68$) [-].

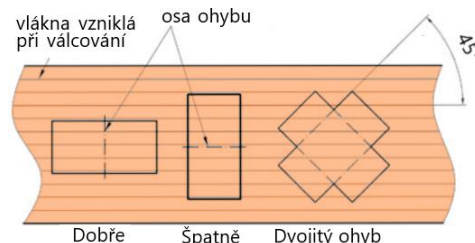
$$\beta = (180 - \gamma) \left(\frac{R}{r_p} - 1 \right) [°], \quad (2.35)$$

kde: r_p – poloměr špičky razníku [mm],

Eliminace odpružení se dosahuje různými způsoby. Jeden ze způsobů je navržení nástroje, který materiál ohne o úhel β navíc, než je požadovaný úhel a po odstranění zatížení dojde vlivem odpružení k vytvoření požadovaného tvaru výlisku. Dalším způsobem je kalibrace ohybu, kdy se ohraňovací síla zvyšuje a dochází zde k vytváření plastické deformace, až dojde k úplné eliminaci pružné deformace a nedojde k odpružení. Je také možné na základě moderních laserových senzorů, kterými jsou některé ohýbací stroje vybaveny, zjistit pomocí pokusného ohybu velikost úhlu odpružení a pro daný materiál určit korekce pro ohýbání výrobků do přesných tvarů.

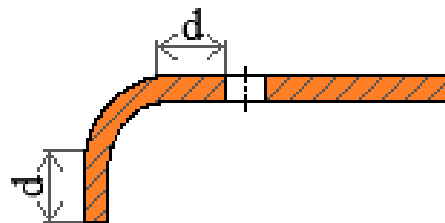
2.2.2 Technologičnost ohraňovaných součástí [16], [23], [34]

Při zhotovování ohraňovaných výrobků se mohou vyskytovat různé komplikace, proto je třeba brát ohledy na určité technologické zásady, mezi které patří například vhodný výběr osy ohybu s ohledem na směr vláken vznikajících při válcování (obr. 42). Ideální ohyb je kolmý na směr vláken v materiálu, pokud provádíme několik na sebe kolmých ohybů, je vhodné umístění pod úhlem 45° vůči směru vláken. Pokud by osa ohybu byla ve stejném směru jako vlákna, ohyb by byl náchylnější k trhlinám.



Obr. 42 Vliv směru vláken na ohyb [34]

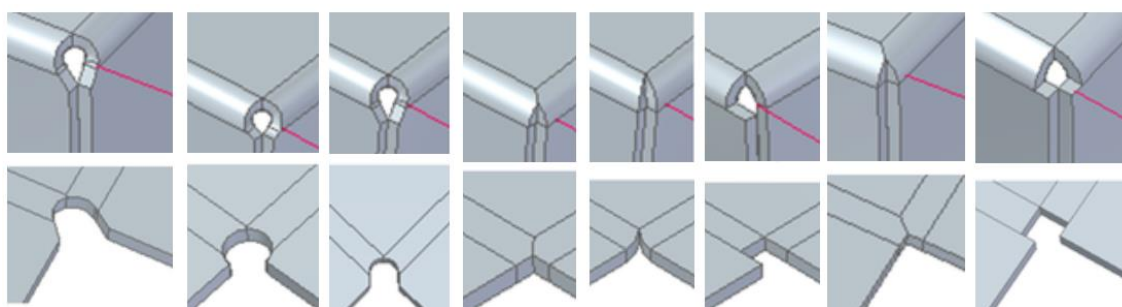
Další zásadou je vystřihování otvorů s požadovanou přesností v oblasti ohybu dodatečně. Pokud je to konstrukčně možné, otvory by měly spíše být od ohybu v dostatečné vzdálenosti, dle obr. 43, kde obvykle $d \geq 2 \cdot s$. Je také možné vytvořit technologicky zdeformovaný otvor, který se při ohybu přetvoří na požadovaný tvar. Tento způsob se využívá spíše u hromadné výroby, jelikož se tvar otvoru určuje experimentálně.



Obr. 43 Minimální vzdálenost ohybu od kraje a otvoru [23]

Pro snížení odpružení je žádoucí volit co nejmenší poloměr ohybu, zároveň však tak velký, aby nedocházelo ke vzniku trhlin vlivem tečného tahového napětí nebo k nežádoucímu ztenčení materiálu. Poloměr vnějšího zaoblení se obvykle volí $R = (2 \text{ až } 3) \cdot s$, vnitřní poloměr potom $R_0 = (0,6 \text{ až } 0,8) \cdot (R + s)$. Vůle mezi razníkem a matricí obvykle bývá rovna tloušťce ohýbaného materiálu.

V případě vytváření rohů pomocí dvou na sebe kolmých ohybů se provádí různá technologická nastřižení. Tato nastřižení a výsledné ohyby jsou zobrazeny na obr. 44.



Obr. 44 Varianty tvarů u rohových nastřižení [35]

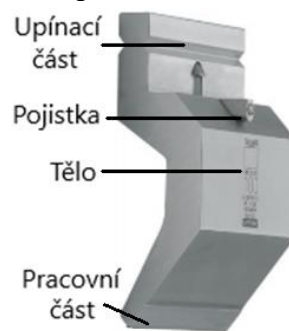
Mezi další zásady pro technologii ohýbání patří:

- upřednostnění ohýbání s kalibrací před volným ohybem,
- brát ohledy na možnosti ohýbání a nepředepisovat příliš přesné tolerance rozměrů,
- čím je materiál tvrdší, tím delší musí být vzdálenost osy ohybu od okraje,
- pro vyvarování se posunu materiálu a vytvoření nechtěných chybných ohybů z důvodu krátkých nebo nestejně dlouhých ohybů je vhodná fixace výlisku,
- při vytváření ostrých ohybů je nutné počítat se zeslabením plechu v ohýbaném místě, lze je vytvořit pouze s doplňkovou kalibrací,
- ohyby s velkými poloměry je třeba vyztužit žebry kvůli nízké tuhosti,
- při funkční přípustnosti součásti nepoužívat tolerování rozměrů.

2.2.3 Ohraňovací nástroje a operace [33], [34], [36], [37]

Ohraňovací nástroj sestává ze dvou komponent a to pohyblivé vrchní lišty, která se nazývá razník a nepohyblivé spodní lišty, tzv. matrice. Druh ohybu vytvářený na plechovém materiálu, je závislý na tvaru dutiny matrice a tvaru razníku.

Razníky (obr. 45) se vyrábí v různých tvarech a velikostech dle požadovaného druhu ohybu. Razník se skládá ze čtyř částí a to těla, pracovní části a upínací části a pružné bezpečnostní pojistky. Hlavními parametry jsou úhel a poloměr špičky razníku, mezi další parametry patří výška, šířka a délka, jejichž velikosti určují možnosti ohybů. Špička razníků v pracovní části bývá laserově nebo indukčně zakalená, výrobci také nabízejí různé povrchové úpravy pro snížení tření, opotřebení a podobně. Na každém razníku jsou uvedené geometrické údaje a maximální zatížení, které je uvedeno v $\text{kN}\cdot\text{m}^{-1}$. Aby bylo zamezeno deformaci nástroje, toto zatížení se nesmí překročit.



Obr. 45 Razník [36]

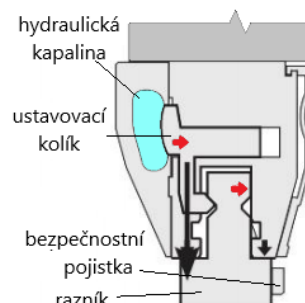
Matrice (obr. 46) jsou obvykle vyráběny ve tvarech „V“ a „U“, avšak dle požadavků zákazníka jsou dutiny matic ve speciálních tvarech. Jsou tvořeny upínací částí a tělem, ve kterém je vytvořena tvarová dutina pro ohyb. Hlavní parametry matrice jsou úhel a velikost rozevření matrice a též zaoblení vnějších hran. Dalším parametrem je maximální zatížení. Tyto údaje jsou uvedeny na těle matrice. Tvarová dutina je laserově nebo indukčně zakalená, případně jsou provedeny různé povrchové úpravy.



Obr. 46 Matrice [36]

Upínání ohraňovacích nástrojů je zajištěno pomocí hydraulických a mechanických systémů. Při mechanickém upínání se nástroj vloží do upínací drážky a dojde k zajištění bezpečnostní pojistkou. Poté se provede utažení šroubu, čímž se nástroj stlačí ustavovacím kolíkem na plochu upínací lišty. Výhodou mechanického upínání je jednoduchá konstrukce upínacího systému, nevýhodou jsou dlouhé časy pro výškové seřízení na krajích, což vede k prodloužení celkových výrobních časů. Mechanické upínání je proto vhodnější používat v hromadné výrobě.

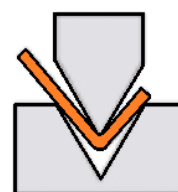
Při hydraulickém upínání (obr. 47) je nástroj vložen do drážky a dočasně upnut pomocí bezpečnostní pojistky. Po spuštění hydraulického systému je nástroj uveden do korektní polohy, upevněn a připraven k ohýbání. Hydraulické upínání je proto vhodné na použití jak v hromadné, tak i v kusové výrobě, jelikož výměny nástrojů probíhají velmi rychle. Nevýhodou je obtížnější konstrukce. Některé stroje využívají také pneumatické upínání, které místo hydraulické kapaliny využívá stlačený vzduch.



Obr. 47 Hydraulické upínání [37]

Ohraňování probíhá pomocí beranu stroje, který se s razníkem pohybuje směrem dolů, až dojde k zatlačení materiálu do dutiny matrice a vznikne ohyb. Klasicky se používají tyto typy ohýbání:

- volné ohýbání (obr. 48) – razník stlačuje materiál do dutiny matrice, avšak ne až na její dno. Obvykle tento typ probíhá ve tvaru „V“, a během ohraňování



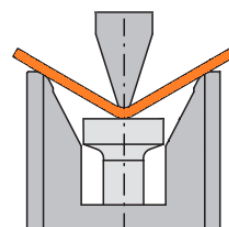
Obr. 48 Volný ohyb [33]

je materiál v doteku pouze s hranami matrice. Velikost úhlu ohybu je možné měnit dle hloubky zatlačení. Výhodami této metody jsou možnost vytváření různých úhlů bez výměny nástroje, tedy vysoká flexibilita, nižší náklady, nižší ohýbací síly a výkony strojů,

- ohyb s dotlačením (obr. 49) – razník stlačuje materiál až na dno dutiny matrice, s tím že po dosažení dna stále pokračuje ve stlačování, čímž je dosaženo toho, že má materiál stejný tvar jako razník a matrice. Díky dotlačení dochází ke zvyšování tlaku a tím ke kalibraci a mnohonásobnému zvýšení ohraňovací síly. Z důvodu vysokých sil je eliminováno odpružení. Tento typ se využívá při ohýbání tenkých plechů pro vytvoření úhlu 90°. Nevýhodou metody je nízká flexibilita, jelikož je potřeba, aby do sebe razník s matricí přesně zapadali,
- tříbodový ohyb (obr. 50) – u speciálních ohraňovacích lisů existuje také tato metoda, která je určena třemi body matrice. Razník tlačí materiál až na dno dutiny, jehož hloubku je možné nastavovat dle potřeby, čímž je umožněno velmi přesné ohýbání různých úhlů za použití jednoho nástroje. Tříbodové ohýbání tedy využívá výhod, které má volný ohyb a ohyb s dotlačením.



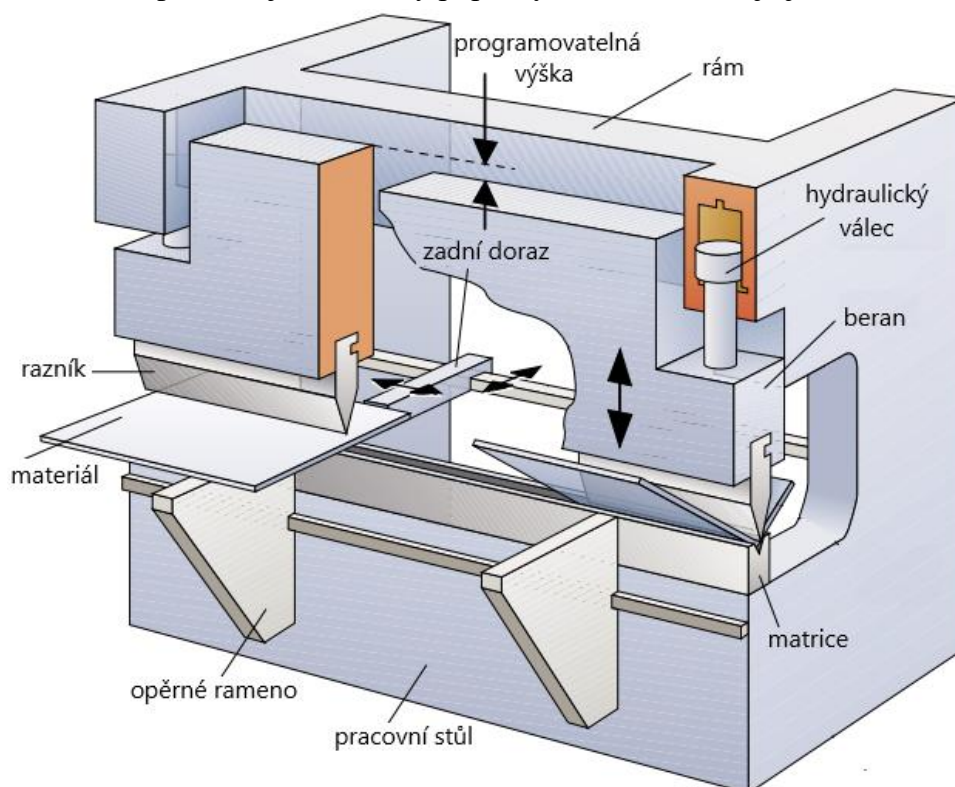
Obr. 49 Ohyb s dotlačením [33]



Obr. 50 Tříbodový ohyb [33]

2.2.4 Ohraňovací stroje [37], [38], [39]

Kvůli nutnosti použití velmi vysokých sil při ohýbání musí být konstrukce ohraňovacích lisů velmi masivní a pevná. Zjednodušený popis hydraulického stroje je zobrazen na obr. 51.



Obr. 51 Ohraňovací stroj [38]

Základní nosnou konstrukcí ohraňovacího stroje je rám. Skládá se z pevných částí, které jsou k sobě buď přišroubované, nebo svařené. Je nutné, aby zajišťoval velkou pevnost a stabilitu. Ohraňovací lisy mají dva druhy rámu:

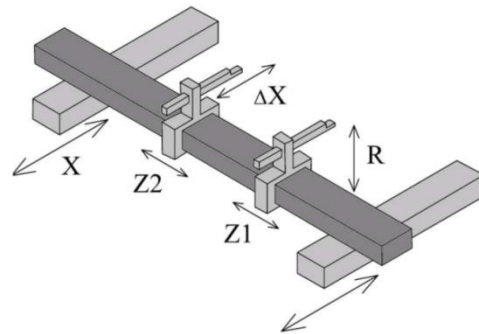
- C - rám,
- O - rám – má vyšší tuhost, stabilitu a kompaktnost než C – rám.

Další komponentou ohraňovacího lisu je beran, který vykonává svislý pohyb dolů za pomoci kluzného vedení a pohonu. Pohony strojů pro pohyb beranu jsou:

- hydraulické – pohyb beranu dolů je proveden v kluzném vedení díky hydraulickým válcům. V důsledku umístění hydraulických válců, může při použití vysokých ohýbacích sil dojít k nerovnoměrnému ohnutí materiálu. Důvodem je nerovnoměrné rozložení sil, jehož důsledkem je elastická deformace beranu, což ovlivní i výsledek ohybu. Proto je nevýhodou složitější konstrukce hydraulických systémů,
- elektrické – pohyb beranu dolů je zajištěn pomocí pásů, kladek a servomotorů. Pohyb beranu do zpětné polohy je pak zajištěn za pomoci pružin umístěných na každé straně stroje. Díky rovnoměrnému rozmístění kladek se u el. pohonů, na rozdíl od pohonů hydraulických, dosahuje rovnoměrného rozložení síly po celé délce beranu, jsou schopny eliminovat elastickou deformaci beranu. Elektrické pohony mají také nižší spotřebu energie, jsou u nich nižší náklady na údržbu a odpadá potřeba měnit těsnění.

Spodní část stroje je dále tvořena pracovním stolem, na kterém je umístěný upínací mechanismus pro matrice. Mohou na něm být také přimontována podpěrná ramena, která slouží u menších lisů pro odkládání polotovarů a výrobků. U větších lisů se využívají při ohýbání rozměrných součástí jako podpěry, většinou jde o hydraulické prvky. Jejich použití je vhodné k eliminaci prohnutí výrobku či rozbití nástroje vlivem vysoké boční síly. Tato hydraulická ramena se při ohybu automaticky zvedají.

Podstatnou komponentou ohraňovacích strojů jsou také zadní dorazy (obr. 52), které zajišťují správnou polohu materiálu při vytváření ohybu. Stroje jsou proto vybaveny těmito počítačem řízenými nebo ručně nastavitelnými dorazy. Na tyto dorazy jsou přimontované palce, na které se přitlačuje ohýbaná součást. Dorazy jsou obvykle dva a mohou se pohybovat každý zvlášť, ale i společně, a to ve všech třech osách.



Obr. 52 Programovatelné dorazy [31]

2.3 Lisování prvků do tenkostěnných výrobků [40], [41], [42], [43], [44], [45]

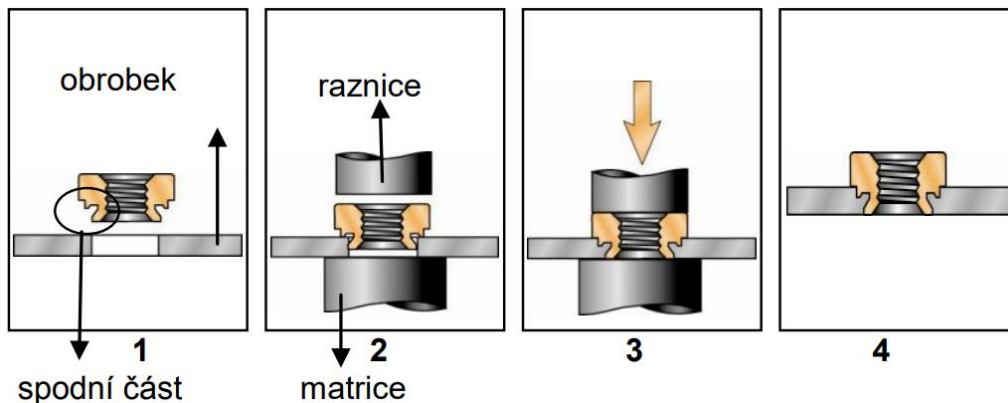
Tenkostěnné výrobky jsou často vybaveny prvky sloužícími k upevnění dalších součástí. Většinou se jedná o prvky se závity jako matice a čepy. K jejich spojování se používá velmi jednoduchý způsob lisování a vytvoření závitu v tenkostěnném materiálu.

Metoda spočívá ve vytvoření plastické deformace, kdy dochází k tečení materiálu do lisovacího prvku. Lisovací prvky jsou po obvodu tvořeny zoubky, které vytlačují materiál plechu do zápinu nacházejícím se v prvku, čímž dojde k trvalému spojení prvku s polotovarem.

Mezi lisovací prvky se řadí různé čepy, matice, distanční sloupky a podobně. Tyto prvky se lisují do předem připravených otvorů, které vznikly jinou předchozí operací, například vysekáváním.

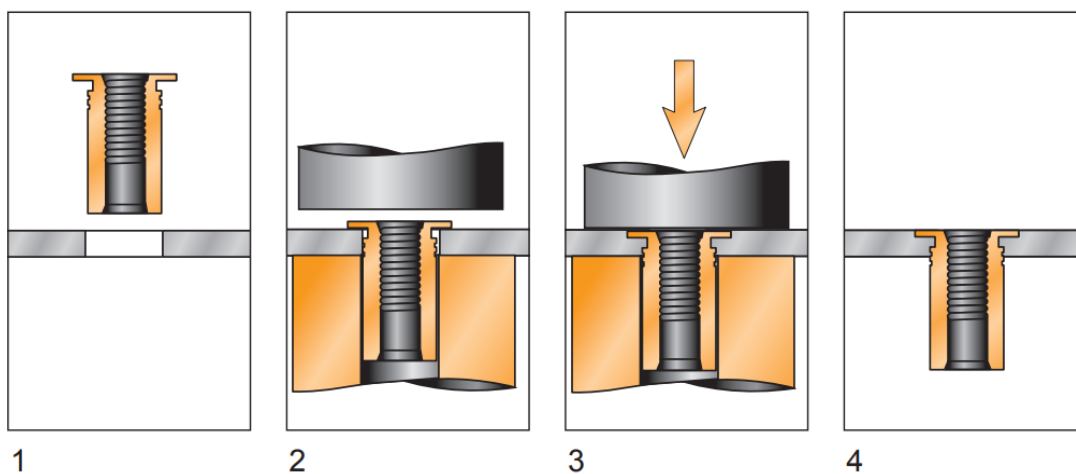
Lisovací nástroj se skládá z vrchní pohyblivé části, nazývané raznice, a spodní nepohyblivé části, nazývané matrice.

Postup zalisování matice je znázorněn na obr. 53. V první fázi se výstřižek přinese k lisu, a do předem vytvořené díry se matice založí. Výrobek se položí na matici. Poté se raznice spustí až na matici a začne na ni působit lisovací silou. Dochází k vyplnění spodní části matice materiálem a je vytvořen nerozebíratelný trvalý spoj.



Obr. 53 Postup zalísování matice [40]

V případě lisování distančních sloupků do materiálu je v matici vytvořen otvor pro ustavení sloupku, jak je zobrazeno na obr. 54.



Obr. 54 Postup zalísování distančního sloupku [41]

Způsob výroby předděrovaných otvorů má vliv na kvalitu a pevnost spoje. Lisovací prvky jsou však ve většině případů vyrobeny způsobem, který umožňuje jejich zalísování do děr vyrobených jakoukoliv technologií. Při vysekávání vlivem pružné deformace dochází k zaoblení kraje otvoru, což lehce snižuje objem, který do lisovacích prvků zatéká. Proto je nutné u otvorů vyrobených touto technologií použít lehce vyšší lisovací sílu.

Parametry, které je potřeba znát k zalísování sloupků či matic, udává výrobce lisovacích prvků. Nejdůležitějšími z nich jsou průměr předpřipravené díry a její tolerance, potřebná síla k zalísování prvku a minimální tloušťka plechového materiálu. Další parametry dané výrobcem jsou minimální tloušťka plechového polotovaru a největší průměr lisovacího prvku. Výrobce také udává maximální zatížení pro trvale vytvořený spoj. Jedná se o maximální točivý moment a maximální vytahovací sílu, které se liší dle rozměrů prvků a použité lisovací síly. Parametry dané výrobcem pro lisování matic jsou uvedeny v příloze č. 6. Parametry dané výrobcem pro lisování distančních sloupků jsou uvedeny v příloze č. 7.

Pro lisovací prvky se používají obvykle materiály jako pozinkovaná ocel, korozivzdorná ocel nebo i hliníkové materiály.

Pomocí lisovacích strojů je také možné provádět různé prolisy do materiálů.

Pro lisování prvků se používají lisovací stroje, které se dělí především dle lisovací síly na:

- lehké – lisy s maximální lisovací silou do 500 kN,
- těžké – lisy s maximální lisovací silou nad 500 kN.

Dále je možné lisovací stroje rozdělit podle druhu pohonu na:

- manuální (ruční) lisy,
- elektrické lisy,
- mechanické lisy,
- hydraulické lisy (obr. 55),
- pneumatické lisy (obr. 56).



Obr. 55 Hydraulický lis Pemserter 2000 [44]



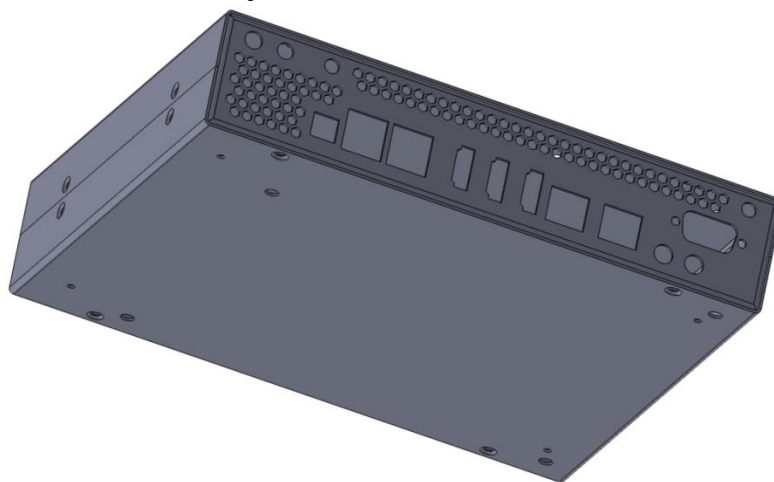
Obr. 56 Pneumatický lis EMG 1T [45]

3 NÁVRH VÝROBY POČÍTAČOVÉ SKŘÍNĚ

Počítačová skříň DMP – X6Pro bude zhotovena ve společnosti EMKO Case a.s., kde bude vyráběna ve výrobní sérii 1000 ks za rok. Pro výrobu skříně byly proto vybrány technologie, kterými firma disponuje. Pro vytvoření rozvinutých tvarů součástí byla vybrána technologie vysekávání na CNC vysekávacím stroji. Požadované ohyby budou vytvořené metodou ohraňování na hydraulickém ohraňovacím lisu. Do spodního krytu budou nalisovány čtyři distanční sloupky, do zadního panelu dvě matice. Součásti je nutné vytvořit s určitou rozměrovou a geometrickou přesností, aby byla možná jejich bezproblémová montáž. Požadavkem zákazníka je, aby na všech viditelných plochách skříně byl vytvořen práškový nástřik s barevným odstínem M 5010, přičemž tento nástřik nesmí být poškozen k dosažení dobrého estetického dojmu.

Polotovarem pro počítačovou skříň bude plechová tabule o tloušťce 1 mm. Materiál součástí musí být vhodný pro tváření za studena a musí být možné na něj nanášet práškové nástřiky. Z tohoto důvodu byla z materiálů používaných firmou vybrána pozinkovaná ocel s označením DX51D + 275 MAC, která veškeré požadované vlastnosti splňuje.

3D model počítačové skříně byl na základě výkresové dokumentace vytvořen pomocí programu Solidworks 2015. Model je zobrazen na obr. 57.



Obr. 57 Počítačová skříň DMP – X6Pro

3.1 Technologičnost součástí

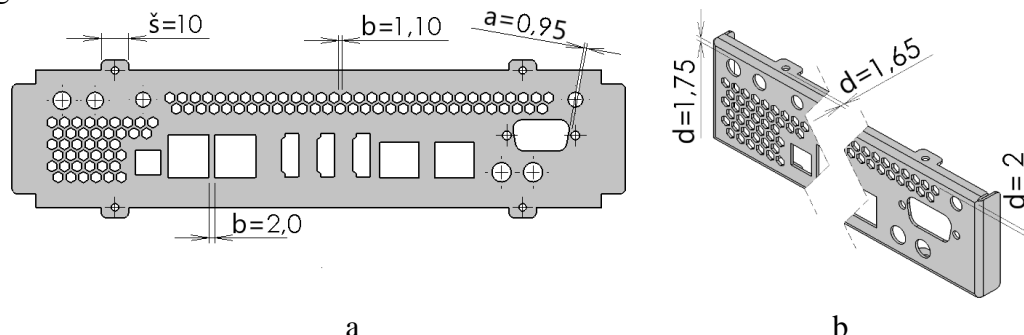
Jelikož je na součástech třeba vytvořit mnoho otvorů, je nutné před samotným návrhem výroby provést kontrolu technologičnosti všech součástí pro vyvarování se technologickým vadám.

Pro vysekávání je nutné určit kritické vzdálenosti mezi otvory, vzdálenosti otvorů od okraje výstřižků a nejmenší velikost vyčnívajících šírek. Jelikož bude pro výrobu použita tloušťka plechu $s = 1$ mm, pak dle kapitoly 2.1.3, obr. 19, jsou kritické vzdálenosti $a = 0,8$ mm, $b = 1$ mm, $c = 1,5$ mm, $\bar{s} = 1,5$ mm.

U technologie ohýbání je nezbytné provést kontrolu nejkratších vzdáleností otvorů od ohybů. Dle kapitoly 2.2.2, obr. 43 je pro tloušťku plechu $s = 1$ mm kritická vzdálenost otvoru od ohybu $d = 2$ mm.

Dle výkresové dokumentace bylo vyhodnoceno, že nejrizikovější součástí skříně pro tyto kritické vzdálenosti je zadní panel skříně, proto bude kontrola provedena na této komponentě.

Z obr. 58a je zřejmé, že nejkratší šířka a všechny vzdálenosti mezi otvory jsou delší než kritické vzdálenosti. Na obr. 58b je zobrazeno, že nejkratší vzdálenosti od některých otvorů jsou kratší, než je kritická vzdálenost $d = 2$ mm, a je proto doporučeno změnit geometrii těchto otvorů.



Obr. 58 Nejkratší vzdálenosti mezi otvory a ohyby

Jak bylo uvedeno, budou se všechny ohyby provádět s razníkem o poloměru zaoblění špičky 1 mm. Tento poloměr se tedy bude nacházet na vnitřní straně ohybu a je nutné provést výpočet pro minimální poloměr ohybu R_{min} podle vztahu (2.30), pro který je potřeba znát maximální velikost deformace ε_{max} , která bude vypočtena pomocí vztahu (2.29).

Velikost maximální deformace je:

$$\varepsilon_{max} = \frac{s}{2R_0 + s} = \frac{1}{2 \cdot 1 + 1} = \frac{1}{3} [-].$$

Minimální poloměr ohybu je potom:

$$R_{min} = \frac{s}{2} \cdot \left(\frac{1}{\varepsilon_{max}} - 1 \right) = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{1}{\frac{1}{3}} - 1 \right) = 1 [mm].$$

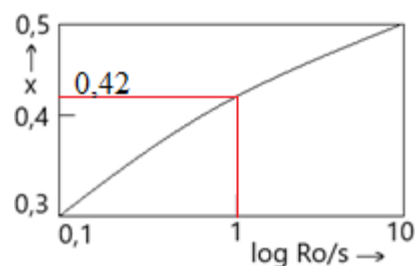
Z výpočtu minimálního poloměru ohybu vyplynulo, že použití razníku o poloměru špičky 1 mm je na hranici použitelnosti. Při této hranici hrozí vznik trhlin a je proto doporučeno provést vizuální kontrolu všech ohnutých dílců.

Jelikož nedošlo ke splnění jedné z geometrických podmínek pro správnou technologičnost ohýbání, byla nutná konzultace se zákazníkem, který trval na zachování geometrie součásti. Z tohoto důvodu byl vytvořen jeden zkušební kus zadního panelu. Tento vytvořený vzorek je bez technologických vad a je možné všechny komponenty počítačové skříně vyrobit.

3.2 Stanovení rozvinutých tvarů a nástřihového plánu

Rozměry součástí v rozvinutých tvarech budou navrženy pomocí rovnic uvedených v kapitole 2.2.1. Vrchní a spodní kryt je tvořen dvěma ohyby s úhlem 90° , tzn. v rozvinutém tvaru třemi rovnými a dvěma zaoblenými úseky. Přední a zadní panel je tvořen čtyřmi ohyby s úhlem 90° , které jsou na sebe kolmé. V rozvinutém tvaru jsou pak tvořeny šesti rovnými a čtyřmi zaoblenými úseky. Spojky nejsou tvořeny ohyby. Veškeré ohyby budou vytvořeny s vnitřním poloměrem 1 mm, jelikož firma disponuje razníky o poloměru špičky 1 mm.

Zaoblené úseky budou vypočteny pomocí vztahu (2.25). Pro tento vztah je nutné vypočítat poloměr neutrální vrstvy, vypočtený ze vztahu (2.24), kde je nutné znát součinitel posunutí neutrální vrstvy, který bude určen pomocí 39. Na obr. 59 je znázorněno, že pro $R_0/s = 1$ je tento součinitel $x = 0,42$.



Obr. 59 Určení součinitele x

Všechny ohyby mají poloměr ohybu $R_0 = 1$ mm, poloměr neutrální vrstvy potom bude:

$$\rho = R_0 + xs = 1 + 0,42 \cdot 1 = 1,42 \text{ [mm]}.$$

Délky zaoblených úseků u vrchního a spodního krytu i u předního a zadního panelu jsou potom:

$$l_o = \frac{\pi \cdot \gamma}{180} \rho = \frac{\pi \cdot 90}{180} \cdot 1,42 = 2,23 \text{ [mm]}.$$

Délky rovných úseků u vrchního a spodního krytu jsou zobrazeny na (obr. 60). Celková délka rozvinutého tvaru u krytů tedy bude:

$$L_{c1} = \sum_{i=1}^n l_i + \sum_{j=1}^m l_0 = 2 \cdot 20 + 2 \cdot 2,23 + 206 =$$

$$L_{c1} = 250,46 \cong 250,5 \text{ [mm]}.$$

Délky rovných úseků u předního a zadního panelu jsou zobrazeny na (obr. 61) a (obr. 62). Celková délka rozvinutého tvaru u panelů ve směru „X“ bude:

$$L_{c2X} = \sum_{i=1}^n l_i + \sum_{j=1}^m l_0 = 2 \cdot 7,5 + 2 \cdot 2,23 + 204 =$$

$$L_{c2X} = 223,46 \cong 223,5 \text{ [mm]}.$$

Celková délka rozvinutého tvaru u panelů ve směru „Y“ bude:

$$L_{c2Y} = \sum_{i=1}^n l_i + \sum_{j=1}^m l_0 = 2 \cdot 7,5 + 2 \cdot 2,23 + 38 =$$

$$L_{c2Y} = 57,46 \cong 57,5 \text{ [mm]}.$$

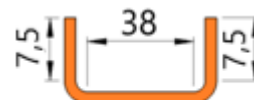
Rozměry rozvinutých tvarů součástí jsou zobrazeny na (obr. 63).



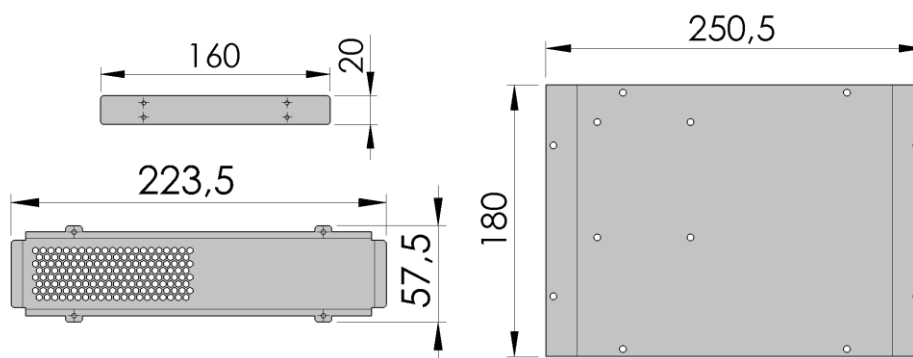
Obr. 60 Rozměry krytů



Obr. 61 Rozměry panelů v ose X



Obr. 62 Rozměry panelů v ose Y



Obr. 63 Rozměry rozvinutých tvarů

Pro vytvoření nástřihového plánu budou využity tyto rozvinuté tvary. Obsah plochy jednoho krytu bez otvorů je 45 090 mm², plocha panelu bez otvorů je 11 177 mm² a obsah spojky bez otvorů je 3200 mm². Jedna sada skříně, kterou tvoří spodní a vrchní kryt, zadní a přední panel a dvě spojky, zaujímá plochu o 118 934 mm².

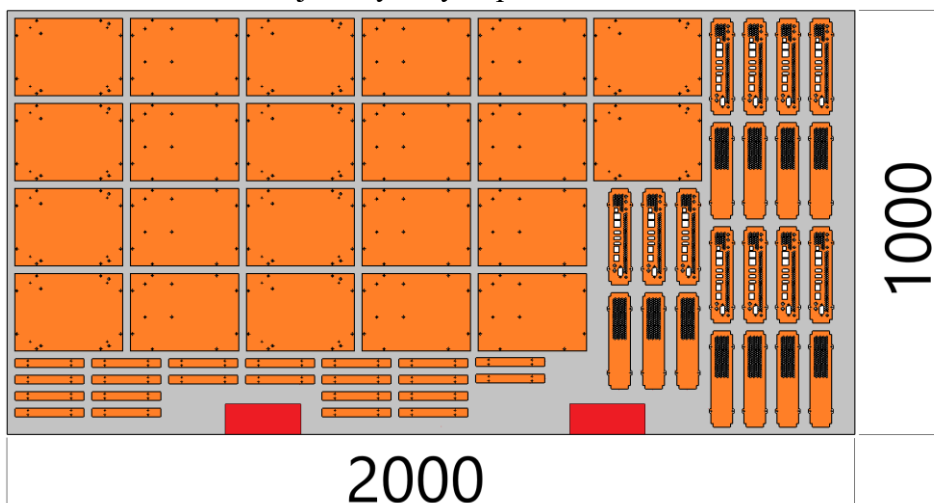
Jelikož se jedná o výrobu ve větší sérii, je nutné vytvořit co nejvhodnější nástřihový plán, díky kterému bude dosaženo maximálního využití materiálu. Posouzení využití materiálu bude provedeno pomocí součinitele využití materiálu, určeným rovnicí (2.11).

Ve společnosti se obvykle používají pro plechové tabule o tloušťce 1 mm rozměry $2\,000 \times 1\,000$ mm a $2\,500 \times 1\,250$ mm.

Při umísťování součástí na nástřihový plán je nutné brát v úvahu bezpečnou oblast pro upínání plechových tabulí, která bude znázorněná červenou barvou. Tato bezpečná oblast je 90 mm na každou stranu od klapky a 72 mm na šířku. Dle požadavků na přesnost výroby bude probíhat vysekávání se zbytkovou mříží. Jelikož se na tabuli bude nacházet mnoho kusů, bude potřeba při odebírání výrobků zachovat určitou tuhost tabule. Proto bude každá hrana dvou součástí od sebe vzdálená minimálně 15 mm, aby při použití dělicího nástroje s dělicí šířkou 5 mm zbyla zbytková mříž o šířce 5 mm.

Při návrhu výroby počítačové skříně byly navrženy tyto nástřihové plány:

- varianta A – výchozím polotovarem pro vysekávání byla zvolena tabule o tloušťce 1 mm a velikosti $2\,000 \times 1\,000$ mm. Počet sad počítačové skříně vyrobených na jedné tabuli touto variantou byl vypočten na hodnotu $n_{sada1} = 11$ ks dle obr. 64, kde šedá barva zobrazuje nevyužitý odpad.



Obr. 64 Varianta A

Součinitel využití materiálu je potom:

$$\eta_{mat} = \frac{S_0}{S_{p1}} = \frac{S_{sada1} \cdot n_{sada1}}{S_{p1}} = \frac{118\,934 \cdot 11}{2\,000\,000} = 0,654137[-].$$

Z výpočtu součinitele využití materiálu vychází, že odpad bude tvořit 34,59 % z polotovaru plechu. Teoreticky by bylo možné spodní část plechu využít pro výrobu jiných, menších součástí o stejné tloušťce a tím zvýšit koeficient využití.

- Varianta B – výchozím polotovarem pro vysekávání bude opět plechová tabule o tloušťce 1 mm a rozměrech $2\,000 \times 1\,000$ mm, nyní však bude nástřihový plán vytvořen pro každý typ součásti samostatně. Na obr. 65a je zobrazen nástřihový plán pro kryty počítačové skříně, kde je jejich počet určen na hodnotu $n_{kryt} = 32$ ks. Na obr. 65b je znázorněn nástřihový plán pro panely skříně, jejich počet na tabuli je stanoven hodnotou $n_{panel} = 76$ ks. Obr. 65c potom zobrazuje nástřihový plán tvořený spojkami, kde je počet kusů na polotovaru určen hodnotou $n_{spojka} = 267$ ks.

Součinitel využití materiálu pro nástřihový plán tvořený pouze kryty potom je:

$$\eta_{matk} = \frac{S_0}{S_{p1}} = \frac{S_{kryt} \cdot n_{kryt}}{S_{p1}} = \frac{45\,090 \cdot 32}{2\,000\,000} = 0,72144[-].$$

Součinitel využití materiálu pro nástřihový plán tvořený pouze panely je:

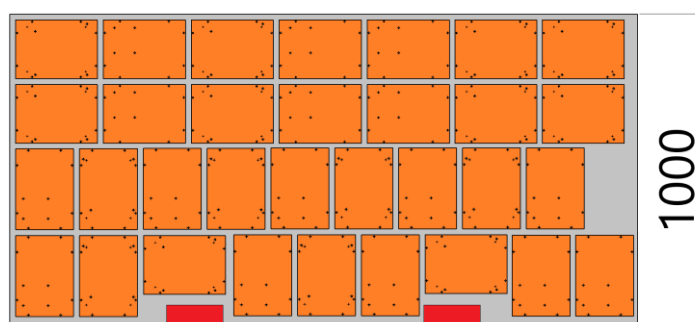
$$\eta_{matp} = \frac{S_0}{S_{p1}} = \frac{S_{panel} \cdot n_{panel}}{S_{p1}} = \frac{11\,177 \cdot 94}{2\,000\,000} = 0,52518[-].$$

Součinitel využití materiálu pro nástřihový plán tvořený pouze spojkami je:

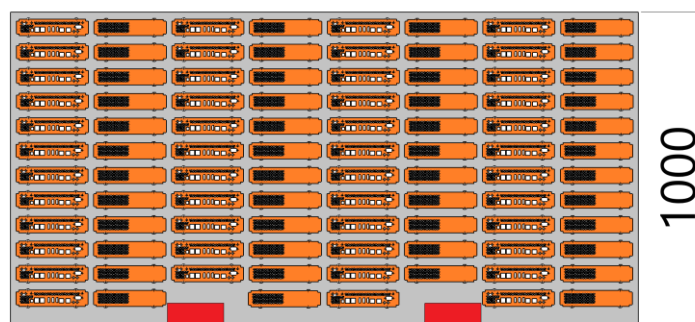
$$\eta_{mats} = \frac{S_0}{S_{p1}} = \frac{S_{spojka} \cdot n_{spojka}}{S_{p1}} = \frac{3\,200 \cdot 267}{2\,000\,000} = 0,4272[-].$$

Celkový součinitel využití materiálu pro variantu B:

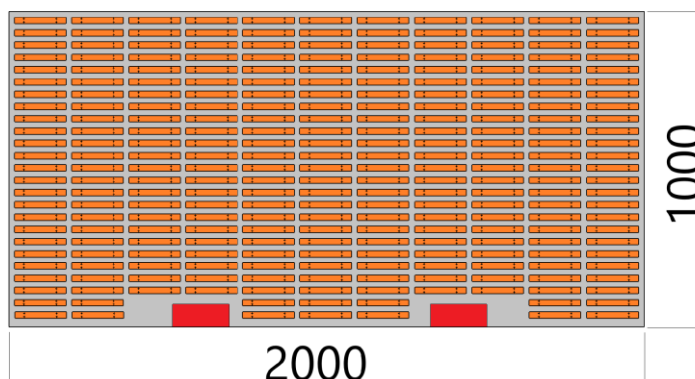
$$\eta_{celkmat} = \sum_{i=1}^n \frac{\eta_{matx} \cdot n_x}{n_x} = \frac{(0,72144 \cdot 8,35) + (0,52518 \cdot 2,84) + (0,4272 \cdot 1)}{8,35 + 2,84 + 1} = 0,6515 [-]$$



a



b

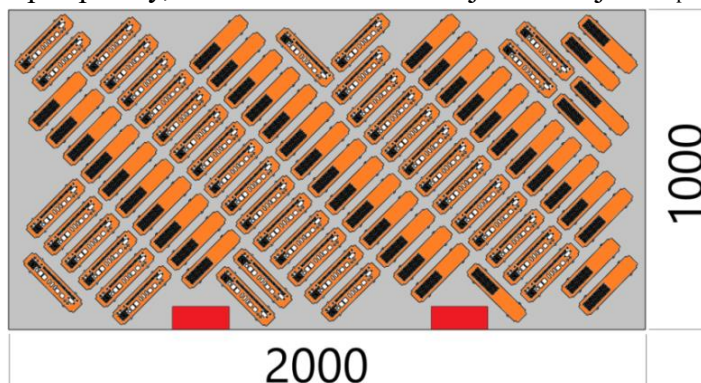


c

Obr. 65 Varianta B

Z výpočtů součinitelů využití materiálu pro variantu B je zřejmé, že u nástřihového plánu pro kryty tvoří odpad plechové tabule pouze 27,86 %, pro panely 47,48 % a pro spojky 57,28 %. Celkový odpad pro 133 sad počítačové skříně je 34,85%.

- Varianta C – Nevýhodou u variant A a B pro technologii ohraňování je, že jsou panely tvořeny ohyby, které jsou na sebe kolmé. To by mohlo vést ke tvorbě trhlin z důvodu anizotropie materiálu. Z tohoto důvodu byla navržena varianta C, která uvažuje stejně jako varianta B nástřihové plány pro jednotlivé typy součástí, avšak u nástřihového plánu pro panely počítačové skříně jsou panely na tabuli vkládány pod úhlem 45°, což eliminuje riziko vzniku trhlin. Na obr. 66 je zobrazen nástřihový plán pro panely, kde množství součástí je určeno jako $n_{\text{panel}45^\circ} = 84$ ks.



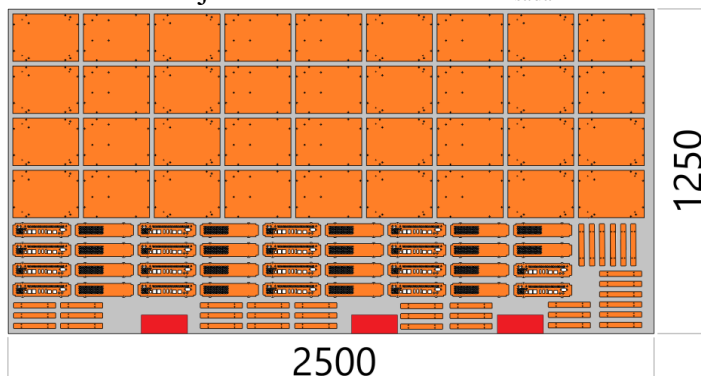
Obr. 66 Varianta C

Součinitel využití materiálu pro nástřihový plán tvořený panely pod úhlem 45° je:

$$\eta_{\text{mat}} = \frac{S_0}{S_{p1}} = \frac{S_{\text{panel}45^\circ} \cdot n_{\text{panel}45^\circ}}{S_{p1}} = \frac{11\,177 \cdot 84}{2\,000\,000} = 0,4694[-].$$

Z výpočtu součinitele využití materiálu vychází, že odpad tabule tvoří 53,06 %. V porovnání s nástřihovým plánem B byl zvýšen odpad o 5,58%. Při výrobní sérii 1000 ks dochází ke značnému zvýšení výrobních časů.

- varianta D – polotovarem pro technologii vysekávání bude plechová tabule o tloušťce 1 mm a rozměrech 1250 × 2000 mm. Na jedné tabuli se opět budou nacházet celé sady počítačové skříně. Jak je znázorněno na obr. 67, množství počítačových skříní na tabuli je stanoveno hodnotou $n_{\text{sada}2} = 18$.



Obr. 67 Varianta D

Součinitel využití materiálu pro nástřihový plán potom je:

$$\eta_{\text{mat}} = \frac{S_0}{S_{p2}} = \frac{S_{\text{sada}2} \cdot n_{\text{sada}2}}{S_{p2}} = \frac{118\,934 \cdot 18}{3\,125\,000} = 0,6850[-].$$

Z výpočtu plyne, že odpad bude tvořit 31,5 %, což vede v porovnání s variantou A ke snížení odpadu o 3,09 %, navíc obsahuje o 7 sad počítačové skříně více než varianta A, což vede k velkému snížení celkových výrobních časů.

Po provedení ohybů na zkušební vzorku bylo zjištěno, že vzniklá anizotropie na plechové tabuli není pro ohraňování součástí problémem. Ohyby na panelech byly vytvořeny bez technologických vad, proto je jako nejvhodnější zvolena varianta D.

3.3 Volba nástrojů pro vysekávání

Před volbou nástrojů je potřeba zvolit vhodnou střížnou vůli mezi matricí a razníkem, aby byly nástroje schopné vysekávání provádět s požadovanou rozměrovou přesností. Pro plechový polotovár o tloušťce 1 mm bude využito pro výpočet střížné vůle vztahu (2.1), který se používá pro materiály o tloušťce $s \leq 3$ mm. Součinitel střížné vůle byl zvolen hodnotou $c_s = 0,019$. Pevnost materiálu ve stříhu je stanovena jako $\tau_s = 0,77 \cdot R_m$. Mez pevnosti je dle tabulky 1.1 stanovena hodnotou $R_m = 364$ MPa. Velikost střížné vůle potom je:

$$v = 2 \cdot c_s \cdot s \cdot 0,32 \cdot \sqrt{\tau_s} = 2 \cdot 0,019 \cdot 1 \cdot 0,32 \cdot \sqrt{0,77 \cdot 364} = 0,203[\text{mm}],$$

Velikost střížné vůle pro materiál o tloušťce 1 mm je $v = 0,203$ mm. Tento výsledek také odpovídá doporučeným hodnotám střížné vůle od firmy TRUMPF, která doporučuje volit střížnou vůli u ocelí $v_{\text{Trumpf}} = 0,2 \cdot s$. Střížná vůle byla proto zvolena jako $v = 2$ mm.

Vysekávací proces pro počítačovou skříň se dá rozdělit na čtyři fáze a to na vysekání všech vnitřních otvorů, vytvoření zahloubení, vytvoření závitů a nakonec vytvoření vnějších tvarů.

Výběr nástrojů může být proveden technologem, nebo pomocí programu TruTops Punch. Ten pro zvolenou variantu nástřihového plánu vytvoří nastavovací plán na základě zvolené velikosti polotovaru a jeho tloušťky. Pro tyto data vybere vhodné nástroje od firmy TRUMPF z nástrojové knihovny. Seznam zvolených nástrojů programem je sepsán v tabulce 2.

Tab. 2 Zvolené nástroje

Číslo nástroje	Označení	Tvar	Rozměr [mm]
1	Kulatý 7,0	Kruh	Ø 7
2	Kulatý 6,5	Kruh	Ø6,5
3	Kulatý 6,0	Kruh	Ø6
4	Kulatý 5,4	Kruh	Ø5,4
5	Kulatý 4,5	Kruh	Ø4,5
6	Kulatý 3,2	Kruh	Ø3,2
7	Kulatý 2,7	Kruh	Ø2,7
8	Com port 20,5 × 11,5 R3,5	Lichoběžník	20,5 × 11,5
9	Čtverec 10,0	Čtverec	10 × 10
10	Čtverec 2,0	Čtverec	2 × 2
11	Čtverec 5,0	Čtverec	5 × 5
12	Ulecek 3,5	Hexagon	3,5
13	Radius R2	Čtverec	3 × 3
14	Obdélník 20 × 2	Obdélník	20 × 2
15	Zahlubovací AM2.5	Kruh	Ø 6
16	M3	Kruh	M3
17	Obdélník 76,2 × 5	Obdélník	76 × 5

Některé otvory a všechny vnější tvary budou vysekávány technologií niblování. Z tohoto důvodu je nutné určit minimální velikost vysekávaných otvorů (razníků), které jsou znázorněny v kapitole 2.1.3 na obr. 19. Podle těchto rozměrů musí mít nejmenší kruhový otvor průměr $e = 1$ mm a nejmenší šířka obdélníkového otvoru $f = 0,8$ mm.

Dále je nutné pro nástroje, které budou při výrobě skříně provádět niblování, určit velikost jejich posuvu. Při užití nástrojů s obdélníkovým tvarem bude pro niblování využita delší hrana. Minimální a maximální velikosti posuvu budou určeny ze vztahů (2.12) a (2.13).

Minimální velikost kroku pro nástroj č.17 je:

$$Spp_{min} = \frac{L}{2} = \frac{76,2}{2} = 38,1 [mm].$$

Maximální velikost kroku pro nástroj č.17 je:

$$Spp_{max} = L - 2 = 76 - 2 = 74,2 [mm].$$

Minimální a maximální velikostí kroků pro ostatní nástroje provádějící niblování jsou stanoveny v tabulce 3.

Tab. 3 Minimální a maximální velikosti kroků při niblování.

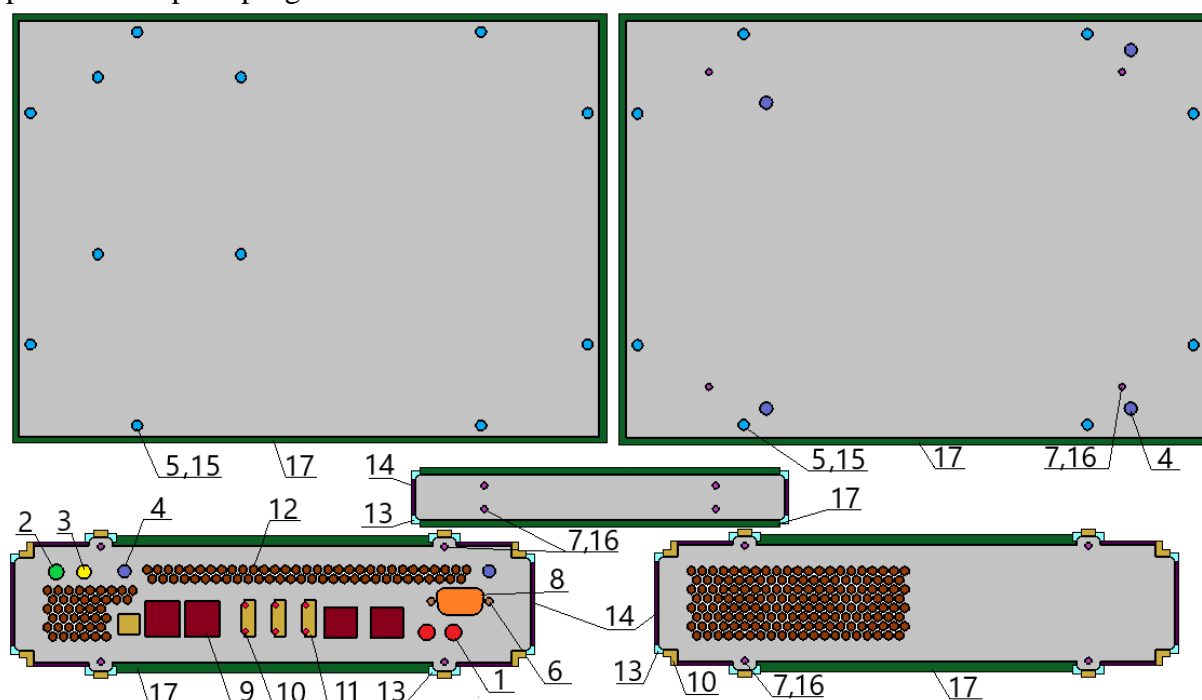
Č. nástroje	Označení	Spp_{min}	Spp_{max}
9	Čtverec 10,0	5	8
11	Čtverec 5,0	2,5	3
14	Obdélník 20 × 2	10	18
17	Obdélník 76,2 × 5	38	74

Do výrobního programu bude nastavena maximální velikost posuvu pro všechny nástroje, které budou provádět niblovací operace, aby byly všechny tvarové kontury vyrobeny na nejmenší možný počet pracovních zdvihů a snížil se celkový výrobní čas. Pomocí výrobního programu byly následně pro nástřihový plán vygenerovány pracovní dráhy pro každý nástroj. K tomu byl také vygenerován předpokládaný čas, který je potřeba ke zpracování jedné plechové tabule. Tento čas je určen hodnotou $t_v = 74,7$ min.

3.4 Postup vysekávání

Postup výroby vysekáváním pro všechny komponenty jednotlivé skříně je uveden na obr. 68. Každá vyobrazená operace odpovídá také číselnému označení použitého nástroje.

Obsluha stroje nachystá podle nastavovacího plánu sestavy nástrojů do zásobníku stroje. Poté nahraje výrobní program vytvořený aplikací TruTops Punch do operačního systému stroje. Pomocí otevřených klapků a kolíků, který slouží jako doraz pro tabule, založí a uchytí polotovar a spustí program.



Obr. 68 Popis postupu vysekávání

V počáteční fázi vysekávání bude provedeno děrování všech kruhových otvorů. Jako první budou na zadním panelu vytvořeny nástrojem č. 1 dva otvory o průměru 7 mm, nástrojem č. 2 otvor o průměru 6,5 mm, nástrojem č. 3 otvor o průměru 6 mm. Dále budou nástrojem č. 4 o průměru 5,4 mm vytvořeny dva otvory na zadním panelu a čtyři otvory na spodním krytu. Poté bude probíhat výroba děr o průměrech 4,5 mm nástrojem č. 5. Dvanáct těchto otvorů se nachází na vrchním krytu, osm na spodním. Poté budou vytvořeny na zadním panelu dva otvory o průměru 3,2 mm nástrojem č. 6. Dále budou předděrovány nástrojem č. 7 díry pro vytvoření závitů. Čtyři tyto díry se nacházejí na předním panelu, čtyři na zadním panelu, čtyři na spodním krytu a čtyři na spojce. V dalším kroku bude vytvořen lichoběžníkový tvar pro počítačový port nástrojem č. 8. Nyní bude prováděna první niblovací operace nástrojem č. 9 pro vytvoření obdélníkových otvorů znázorněných rudou barvou. V desáté operaci se nástrojem č. 10 provede vystřížení malého čtvercového otvoru na zadním panelu, a poté pomocí niblování nástrojem č. 11 o rozměrech 5×5 mm budou tyto otvory (tmavě žlutá barva) dodělány. Dále tento nástroj provede nastřížení rohů a vnějších tvarů v okolí výstupků. Poté přichází na řadu nástroj č. 12, který vytvoří všechny hexagonální otvory obsazené na zadním a předním panelu. Nástrojem č. 13 jsou poté vytvořeny zaoblení o poloměru $r = 2$ mm. V další niblovací operaci se nástrojem č. 14 vytvoří nastřížení vnějších tvarů součástí v místech, kde není vhodné používat poslední nástroj. Dále budou vytvořeny nástrojem č. 15 všechna zahluštění u děr, které byly vytvořeny v páté operaci. V předposlední operaci se u předděrovaných otvorů ze sedmé operace nástrojem č. 16 vytvoří závity M3. Ve finální fázi dochází ke konečnému oddělení výrobků niblovací technologií nástrojem č. 17.

Po každém oddělení jednotlivých výrobků dochází k pozastavení procesu a výsledný produkt bude odebrán obsluhou. Po odebrání všech vysekaných součástí obsluha provede odstranění zbytku plechu, založení a uchycení nové tabule a znovu spustí program.

3.5 Střížné síly a práce

Pro navržené střížné nástroje je nutné stanovit střížnou sílu a práci. Vzorový výpočet bude proveden ze vzorců uvedených v kapitole 2.1.1 a to pro nástroj č. 8, kdy v jednom případě bude uvažován razník s rovnou střížnou hranou a ve druhém případě se šikmou střížnou hranou. Výsledky poté budou porovnány.

Pro výpočet střížné síly je nejprve nutné zjistit velikost střížné plochy, která je určena vztahem:

$$S_{stř} = l_{stř} \cdot s = 56,5 \cdot 1 = 56,5 [mm], \quad (3.1)$$

kde: $S_{stř}$ – střížná plocha [mm],

$l_{stř}$ – střížná délka (podle programu Solidworks $l_{stř} = 56,5$ mm) [mm].

Střížná síla pro razník s rovnou střížnou hranou bude následně vypočítána pomocí vztahu (2.5). Velikost zvyšujícího koeficientu byla zvolena na hodnotu $n = 1,3$. Velikost meze pevnosti ve stříhu je určena jako $\tau_s = 0,77 \cdot R_m$, kde mez pevnosti v tahu je určena z tabulky 1.1 jako $R_m = 364$ MPa.

$$F_{smax} = n \cdot S_{stř} \cdot \tau_s = 1,3 \cdot 56,5 \cdot 0,77 \cdot 364 = 20\,586,5 [N].$$

Velikost stírací síly je poté určena vztahem (2.6). Součinitel závislý na druhu materiálu a jeho tloušťce je zvolen hodnotou $k_{sti} = 0,15$.

$$F_{sti} = F_{smax} \cdot k_{sti} = 20\,586,5 \cdot 0,15 = 3\,087,9 [N].$$

Protlačovací síla je určena vztahem (2.7), kde je součinitel závislý na druhu materiálu a jeho tloušťce zvolen hodnotou $k_{prot} = 0,05$.

$$F_{prot} = F_{smax} \cdot k_{prot} = 20\,586,5 \cdot 0,05 = 1\,029,3 [N].$$

Celková střížná síla, která je součtem střížné stírací a protlačovací síly, je vypočtena pomocí vztahu (2.8).

$$F_c = F_{smax} + F_{sti} + F_{prot} = 20\,586,5 + 2\,676,2 + 1\,029,3 = 24\,703,7 \text{ [N]}.$$

Hodnota velikosti střížné práce je potom určena ze vztahu (2.10). Velikost koeficientu plnosti diagramu byla zvolena hodnotou $\lambda = 0,7$.

$$A = \lambda \cdot F_{smax} \cdot s = 0,7 \cdot 20\,586,5 \cdot 1 = 14\,410,6 \text{ [J]}.$$

Hodnoty střížných sil a prací pro ostatní razníky s rovnou střížnou hranou jsou uvedeny v tabulce 4.

Tab. 4 Velikosti střížných sil a prací pro razníky s rovnou střížnou hranou.

Číslo nástroje	Střížná plocha	Střížná síla	Stírací síla	Protlačovací síla	Celková síla	Střížná práce
	$S_{stř} \text{ [mm}^2\text{]}$	$F_{smax} \text{ [N]}$	$F_{sti} \text{ [N]}$	$F_{prot} \text{ [N]}$	$F_c \text{ [N]}$	$A_v \text{ [J]}$
1	22,0	8 012,4	1 201,9	400,6	9 614,8	5 608,7
2	20,4	7 440,3	1 116,0	372,0	8 928,4	5 208,2
3	18,9	6 868,3	1 030,2	343,4	8 241,9	4 807,8
4	17,0	6 179,6	926,9	309,0	7 415,5	4 325,7
5	14,1	5 152,1	772,8	257,6	6 182,5	3 606,5
6	10,1	3 661,9	549,3	183,1	4 394,2	2 563,3
7	8,5	3 089,8	463,5	154,5	3 707,8	2 162,9
8	56,5	20 586,6	3 088,0	1 029,3	24 703,9	14 410,6
9	40,0	14 574,6	2 186,2	728,7	17 489,5	10 202,2
10	8,0	2 914,9	437,2	145,7	3 497,9	2 040,4
11	20,0	7 287,3	1 093,1	364,4	8 744,7	5 101,1
12	12,1	4 416,1	662,4	220,8	5 299,3	3 091,3
13	9,1	3 330,3	499,5	166,5	3 996,3	2 331,2
14	44,0	16 032,0	2 404,8	801,6	19 238,4	11 222,4
17	162,4	59 172,7	8 875,9	2 958,6	71 007,3	41 420,9

Střížná síla pro razník s šikmou střížnou hranou bude vypočítána pomocí vztahu (2.9). Velikost střížné plochy zůstává stejná jako při výpočtu síly s rovnou střížnou hranou. Mez pevnosti v tahu je stanovena z tabulky 1.1 jako $R_m = 364 \text{ MPa}$. Velikost střížného faktoru byla určena podle přílohy č. 2 pro plechovou tabuli o tloušťce 1 mm a šikmou hranu razníku hodnotou $X = 3,5$.

$$F_{smax} = \frac{S_{stř} \cdot R_m}{X} = \frac{56,5 \cdot 364}{3,5} = 5\,876 \text{ [N]}.$$

Velikost stírací síly je poté určena vztahem (2.6). Součinitel závislý na druhu materiálu a jeho tloušťce je zvolen hodnotou $k_{sti} = 0,15$.

$$F_{sti} = F_{smax} \cdot k_{sti} = 5\,876 \cdot 0,15 = 881,4 \text{ [N]}.$$

Protlačovací síla je určena vztahem (2.7), kde je součinitel závislý na druhu materiálu a jeho tloušťce zvolen hodnotou $k_{prot} = 0,05$.

$$F_{prot} = F_{smax} \cdot k_{prot} = 5\,876 \cdot 0,05 = 293,8 \text{ [N]}.$$

Celková střížná síla, která je součtem střížné, stírací a protlačovací síly, je vypočtena pomocí vztahu (2.8).

$$F_c = F_{smax} + F_{sti} + F_{prot} = 5\,876 + 881,4 + 293,8 = 7\,051,2 \text{ [N]}.$$

Hodnota velikosti střížné práce je potom určena ze vztahu (2.10). Velikost koeficientu plnosti diagramu byla zvolena hodnotou $\lambda = 0,7$.

$$A = \lambda \cdot F_{Smax} \cdot s = 0,7 \cdot 6\,933,7 \cdot 1 = 4\,853,59 \text{ [J]}.$$

Hodnoty střížných sil a prací pro ostatní razníky se šikmou střížnou hranou jsou uvedeny v tabulce 5.

Tab. 5 Velikosti střížných sil a prací pro razníky se šikmou střížnou hranou.

Číslo nástroje	Střížná plocha	Střížná síla	Stírací síla	Protlačovací síla	Celková síla	Střížná práce
	$S_{stř} \text{ [mm}^2\text{]}$	$F_{smaxx} \text{ [N]}$	$F_{stix} \text{ [N]}$	$F_{protx} \text{ [N]}$	$F_{cx} \text{ [N]}$	$A_{vx} \text{ [J]}$
8	56,5	5 876,0	881,4	293,8	7 051,2	4 113,2
9	40,0	4 160,0	624,0	208,0	4 992,0	2 912,0
14	44,0	4 576,0	686,4	228,8	5 491,2	3 203,2
17	162,4	16 889,6	2 533,4	844,5	20 267,5	11 822,7

Z výpočtů pro nástroj lze postřehnout, že při použití šikmé střížné hrany je dosaženo značného snížení střížných sil a prací. Pro nástroje, u kterých vyšla celková střížná síla vyšší než 15 kN je doporučeno použít razníky se šikmou střížnou hranou.

Uvedené výpočty platí pro maximální střížné síly a práce, kdy probíhá odebírání materiálu po celém průřezu nástroje. Tento stav nastává u všech nástrojů, které celou plochu materiálu odeberou jedním zdvihem, například u všech kruhových razníků. U nástrojů provádějící niblování tento stav nastává pouze při prvním pracovním zdvihu, u dalších zdvihů budou hodnoty střížných sil a prací nižší z důvodu chybějících částí otvorů, které byly vytvořené předchozími pracovními zdvihi.

Tvářecí síla pro vytvoření zahloubení bude vypočtena zjednodušeným vztahem jako kalibrace. Bude dána součinem výsledné plochy, na kterou nástroj působí a kalibračního tlaku, který bude určen jako $p_k = 4 \cdot R_m$. Mez pevnosti v tahu je určena z tabulky 1 hodnotou $R_m = 364 \text{ MPa}$. Tvářecí síla pro nástroj č. 15 je potom:

$$F_{tva} = S_k \cdot p_k = \frac{\pi \cdot (3,69^2 - 2,25^2)}{4} \cdot 4 \cdot 364 = 9\,781,4 \text{ [N]}, \quad (3.2)$$

kde: F_{tva} – tvářecí síla [N],
 p_k – kalibrační tlak [MPa].

K této síle je potřeba přičíst sílu přidržovače, která je dána jako součin plochy přidržovače působící na materiál a přidržovacího tlaku (pro ocelí 2 až 3 MPa). Plocha přidržovače byla zjištěna pomocí odměření nástroje a její hodnota je $S_p = 700 \text{ mm}^2$. Přidržovací tlak byl zvolen na hodnotu $p_p = 3 \text{ MPa}$:

$$F_p = S_p \cdot p_p = 700 \cdot 3 = 2\,100 \text{ [N]}, \quad (3.3)$$

kde: F_p – přidržovací síla [N],
 p_p – přidržovací tlak [MPa].

Celková síla potřebná pro vytvoření zahloubení do plechu je potom dána součtem těchto dvou sil:

$$F_c = F_{tva} + F_p = 9\,781,4 + 2\,100 = 11\,881,4 \text{ [N]}.$$

3.6 Volba vysekávacího stroje [18]

Volba stroje bude provedena pro vybranou variantu nástřihového plánu, která uvažuje jako polotovar plechovou tabuli o tloušťce 1 mm a rozměrech 1 250 × 2 500 mm. Dalším hlediskem pro výběr stroje je nejvyšší použitá střížná síla stanovena hodnotou $F_{cx} = 20\,267,5\text{ N}$ pro nástroj č. 18. Společnost EMKO Case a.s. disponuje dvěma vysekávacími stroji.

- TRUMPF Trumatic 200 R – starší vysekávací stroj. Základní parametry stroje jsou uvedeny v tabulce 6.

Tab. 6 Parametry stroje TRUMPF Trumatic 200 R [18].

Pracovní rozsah (X × Y) [mm]	Maximální tloušťka plechu [mm]	Vysekávací síla [kN]
2 070 × 1 280	6,4	165
Max. počet zdvihů (1/min)	Max. průměr ražené díry (mm)	Počet nástrojových stanic
500	76,2	14 + 3

- TRUMPF TruPunch 2000 (obr. 69) – jeden z nejnovějších strojů ve firmě, ve srovnání s TRUMPF Trumatic 200 R pracuje o 40 % rychleji. Základní parametry stroje jsou uvedeny v tabulce 7. Ostatní parametry jsou uvedeny v příloze č. 8.

Tab. 7 Parametry stroje TRUMPF TruPunch 2000 [18].

Pracovní rozsah (X × Y) [mm]	Maximální tloušťka plechu [mm]	Vysekávací síla [kN]
2 500 × 1 250	6,4	165
Max. počet zdvihů (1/min)	Max. průměr ražené díry (mm)	Počet nástrojových stanic
900	76,2	17 + 3



Obr. 69 TRUMPF TruPunch 2000 [18]

V tabulce 6 je uvedeno, že stroj TRUMPF Trumatic 200 R může zpracovávat tabule o maximálních rozměrech 2 070 × 1 280 mm. Jelikož byl zvolen nástřihový plán, kde je uvažován jako polotovar plechová tabule o rozměrech 2 500 × 1 250 mm, není možné použití tohoto stroje.

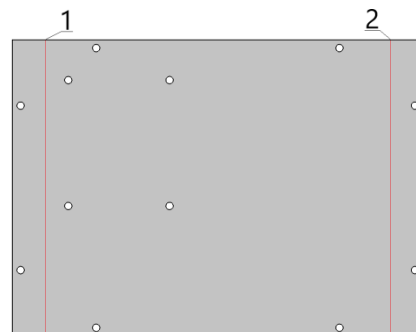
Stroj TRUMPF TruPunch 2000 má maximální pracovní rozsah 2 500 × 1 250 mm, což přesně odpovídá požadovaným rozměrům tabule. Splňuje požadovaný počet nástrojových stanic, takže je možné použít všech 17 nástrojů + 3 programovatelné klapky. Zároveň disponuje maximální vysekávací silou o 165 kN, je jím tedy umožněno vysekání všech otvorů. Z těchto důvodů byl pro vysekávání a pro zvolenou variantu nástřihového plánu zvolen stroj TRUMPF TruPunch 2000.

3.7 Postup ohraňování a volba nástrojů [36]

Při ohraňování je nutné nejdříve zvážit složitost ohýbaných součástí, aby nedošlo ke kolizím předchozích ohybů s nástrojem z důsledku špatně zvoleného postupu ohraňování. Ohyby musí být navrženy s ohledem na bezpečnost obsluhy. Je také vhodné navrhnout postup ohýbání s využitím co nejméně nástrojů.

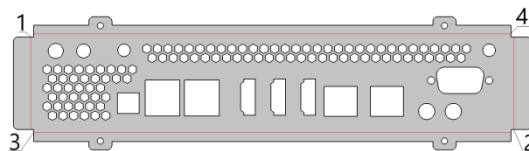
Komponenty počítačové nejsou nadměrné, zároveň jsou tvořeny pouze jednoduchými ohyby.

Kryty jsou tvořeny dvěma ohyby s úhlem 90° o délce ohybu 180 mm a délce ramene 22 mm. Jelikož jsou oba ohyby stejně dlouhé a stejně vzdálené, nabízí se jediné možné řešení postupu, zobrazené na obr. 70.



Obr. 70 Postup ohraňování krytů

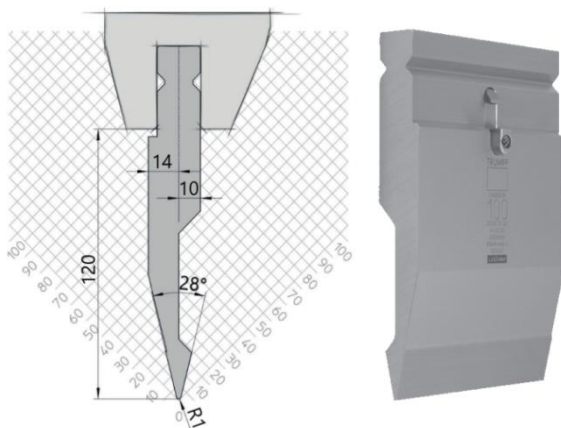
Panele jsou tvořeny čtyřmi ohyby s úhlem 90° . Dva ohyby z toho jsou dlouhé 40 mm, druhé dva mají délku 206 mm. Délka ramen všech ohybů na panelech je 8,5 mm. Při ohýbání panelů budou nejprve provedeny kratší ohyby, následně delší ohyby, jak je znázorněno na obr. 71.



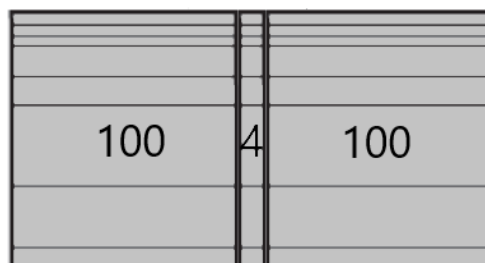
Obr. 71 Postup ohraňování panelů

Z výše uvedených postupů budou zvoleny ohraňovací nástroje. Společnost EMKO Case a.s. disponuje především nástroji od firmy TRUMPF, proto budou pro ohraňování využity. V příloze č. 4 je uvedeno, že pro materiál o tloušťce $s = 1$ mm je doporučená velikost otevření matrice jako $V = 6 \cdot s$. Z tohoto vztahu je optimální velikost otevření matrice určena hodnotou $V = 6$ mm. Při volbě razníku je brán v úvahu vnitřní poloměr ohybů výrobků, který je určen na hodnotu 1 mm.

Z dostupných nástrojů společnosti byl vybrán razník s označením OW202/K (obr. 72) s poloměrem zaoblení 1 mm, pracovním úhlem 28° a pracovní výškou 120 mm. Maximální dovolené zatížení razníku je $600 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$. Délka razníku bude vzhledem k nejdelšímu ohybu o 206 mm zvolena na celkovou délku 204 mm. Této míry se dosáhne složením nástrojů ze dvou razníků o délce 100 mm a uprostřed bude razník o délce 4 mm (obr. 73). Celková délka razníku je sice o 2 mm kratší než nejdelší ohyb, avšak díky kontinuitě napětí bude součást ohnuta po celé její délce.

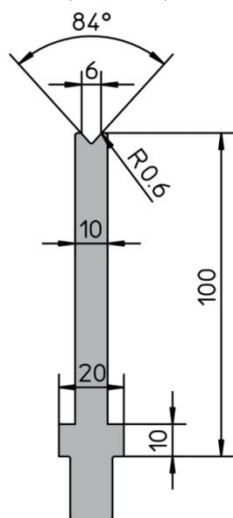


Obr. 72 Razník OW 202/K [36]

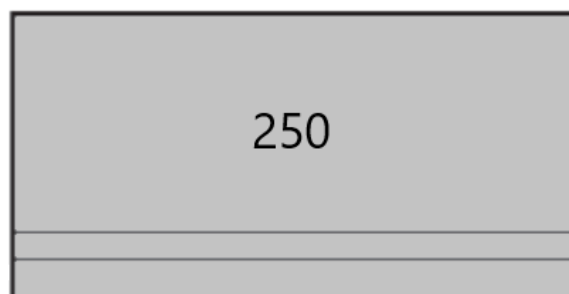


Obr. 73 Délky segmentů razníku [36]

Z dostupných matic společnosti byla vybrána matrice s označením EV/S W6/84° (obr. 74) s pracovním úhlem 84°, velikostí otevření matrice 6 mm a výškou 100 mm. Maximální dovolené zatížení matrice je 290 kN·m⁻¹. Délka matrice je určena na hodnotu 250 mm (obr. 75).



Obr. 74 Matrice EV/S W6/84° [36]



Obr. 75 Délka matrice [36]

3.8 Výpočet ohraňovacích sil, prací a odpružení

Výpočet ohraňovacích sil bude proveden pomocí vztahu (2.20), který je určen pro ohyb o délce jednoho metru. Pro ohýbaný materiál o tloušťce 1 mm byla hodnota meze kluzu určena z tabulky 1, kde $R_m = 364$ MPa. Optimální velikost otevření matrice je určena jako $V = 6$ mm.

$$F_{ohr1} = \frac{R_m \cdot s^2}{V} \cdot \left(1 + \frac{4 \cdot s}{V}\right) = \frac{364 \cdot 1^2}{6} \cdot \left(1 + \frac{4 \cdot 1}{6}\right) = 101,11 [kN \cdot m^{-1}].$$

V závislosti na délce ohybu bude proveden výpočet ohraňovacích sil a prací pro všechny požadované ohyby. Vzorový výpočet bude proveden pro čtvrtý ohyb na panelu. Délka ohybu je určena jako $l_{p4} = 204$ mm. Velikost dráhy razníku byla určena pomocí programu Solidworks 2015 (příloha č. 9). Hodnota pro úhel ohybu 90° a polotovaru o tloušťce 1 mm je $h_r = 2,17$ mm.

$$F_{ohrp4} = F_{ohr1} \cdot l_{p4} = 101,11 \cdot 0,204 = 20,62 [kN].$$

Ohraňovací práce, určená vztahem (2.19) potom je:

$$A_{ohrp4} = \frac{1}{2} \cdot F_{ohrp4} \cdot h_r = \frac{1}{2} \cdot 20,62 \cdot 2,17 = 22,37 [J].$$

Ohraňovací síly a práce pro ostatní ohyby jsou uvedeny v tabulce 8.

Tab. 8 Ohraňovací síly a práce.

Komponenta	Číslo ohybu	Délka ohybu	Ohraňovací síla	Ohraňovací práce
		l [mm]	F_{ohr} [kN]	A_{ohr} [J]
Kryt	1, 2	180	18,20	19,75
Panel	1, 2	40	4,04	4,38
	3, 4	204	20,62	22,37

Proces ohraňování je doprovázen pružnou deformací, což se po odstranění zatížení projeví odpružením. Tím dojde ke zvětšení úhlu ohybu. Odpružení bude určeno pomocí rovnice (2.34). Mez kluzu je určena hodnotou $R_e = 327$ MPa z tabulky 1. Optimální rozevření matrice bylo určeno jako $V = 6$ mm. Součinitel zohledňující polohu neutrální vrstvy je určen na hodnotu $k = 0,58$. Modul pružnosti v tahu je pro běžné oceli $E = 2,1 \cdot 10^5$ MPa.

Velikost odpružení činí:

$$\operatorname{tg} \beta = 0,375 \frac{V \cdot R_e}{k \cdot s \cdot E} = 0,375 \cdot \frac{6 \cdot 327}{0,58 \cdot 1 \cdot 2,1 \cdot 10^5} = 0,016108[-],$$

$$\beta = \arctg(0,016108) = 0^{\circ}55'22''.$$

Velikost odpružení je u všech ohybů stejná, jelikož má každý ohyb stejné parametry pro výpočet. Odpružení nabývá hodnoty téměř jednoho stupně. Tato hodnota je vzhledem k délkám ramen ohybů téměř zanedbatelná. Doporučuje se provést kontrolu montáže zkušebních komponent. V případě, že by odpružení tvořilo při montáži problém, lze jeho eliminace dosáhnout zvětšením úhlu ohybu o velikost odpružení. Vypočtené odpružení je však pouze informativní a bude přesně určeno až při ohraňovací operaci obsluhou stroje.

3.9 Volba ohraňovacího stroje [46]

Při volbě ohraňovacího stroje je třeba brát ohled na potřebnou nejvyšší ohraňovací sílu $F_{ohrp4} = 20,62 \text{ kN}$, aby byl schopen ohyb provést. Dále musí být možné ohnout všechny délky ohybů. Společnost EMKO Case a.s. disponuje dvěma ohraňovacími stroji:

- TRUMPF TrumaBend V50 – parametry stroje jsou uvedeny v tabulce 9.

Tab. 9 Parametry stroje TRUMPF Trumabend V50.

Pracovní rozsah [mm]	Maximální ohraňovací síla [kN]	Zdvih [mm]	Volná vzdálenost mezi sloupy [mm]
1 275	500	215	1 040

- TRUMPF TruBend V5130– novější a delší stroj. Parametry stroje jsou uvedeny v tabulce 10.

Tab. 10 Parametry stroje TRUMPF Trubend V5130.

Pracovní rozsah [mm]	Maximální ohraňovací síla [kN]	Zdvih [mm]	Volná vzdálenost mezi sloupy [mm]
3 120	1 300	445	2 690

Z výše uvedených parametrů je zřejmé, že oba stroje jsou schopny provést veškeré ohyby. Jelikož se jedná o poměrně krátké ohyby, je zvolen pro ohraňování komponent stroj TRUMPF TrumaBend V50 (obr. 76), aby bylo možné využít délku druhého stroje pro jiné, delší ohyby.

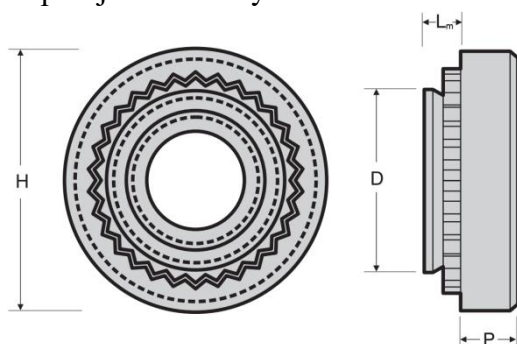


Obr. 76 TRUMPF TrumaBend V50 [46]

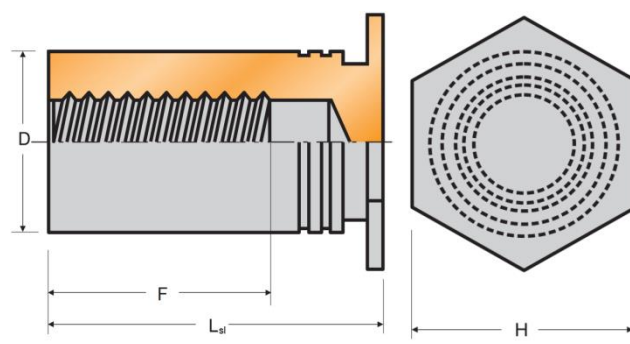
3.10 Proces zalisování distančních sloupků a matic do výrobků [40], [41]

Po ohranění součástí následuje zalisování lisovacích prvků do součástí. Jedná se o lisování dvou matic do zadního panelu a čtyř distančních sloupků do vrchního krytu. Prvky jsou z pozinkované kalené uhlíkové oceli.

Jako lisovací prvek do panelu byla zvolena matice s označením S-M4-0ZI (obr. 77), která má vnitřní závit M4. Dle přílohy č. 6 je doporučený průměr předděrovaných otvorů $5,41 + 0,08$ mm. Doporučená lisovací síla je v rozmezí velikosti $F_L = (18 \text{ až } 27)$ kN. Další parametry jsou uvedeny v tabulce 11. Zvolený lisovací prvek do krytů je distanční sloupek s označením BSO-3,5M3-6ZI (obr. 78), který má vnitřní závit M3. Dle přílohy č. 7 je doporučený průměr předděrovaných otvorů $5,41 + 0,08$ mm. Lisovací síla je výrobcem doporučena o velikosti $F_L = 14,7$ kN. Další parametry distančních sloupků jsou uvedeny v tabulce 12.



Obr. 77 Rozměry matice [40]



Obr. 78 Rozměry distančního sloupku [41]

Tab. 11 Parametry matic [40]

Označení	S-M4-0ZI						
Název hodnoty	Průměr otvoru	Min. tloušťka plechu	Nejmenší vnější průměr	Největší průměr matice	Nezalisovaná část matice	Zalisovaná část matice	Lisovací síla
Označení hodnoty	D_{otvor} [mm]	S_{min} [mm]	D [mm]	H [mm]	P [mm]	L_m [mm]	F_L [kN]
Tolerance	+0,08 -0,00	/	Max. hodnota	$\pm 0,25$	$\pm 0,25$	Max. hodnota	/
Rozměr	5,41	0,8	5,38	7,9	2,0	0,77	(18 až 27)

Tab. 12 Parametry distančních sloupků [41]

Označení	BSO-3,5M3-6ZI						
Název hodnoty	Průměr otvoru	Min. tloušťka plechu	Nejmenší vnější průměr	Největší rozměr sloupku	Délka závitu	Celková délka sloupku	Lisovací síla
Označení hodnoty	D_{otvor} [mm]	S_{min} [mm]	D [mm]	H [mm]	F [mm]	L_{sl} [mm]	F_L [kN]
Tolerance	+0,08 -0,00	/	+0,00 -0,13	$\pm 0,25$	$\pm 0,25$	+0,05 -0,13	/
Rozměr	5,41	1,02	5,39	7,9	3,2	6	14,7

Dle tabulky 12 je pro distanční sloupek s označením BSO-M3-6ZI požadována minimální tloušťka plechového materiálu $S_{\text{min}} = 1,02$ mm. S ohledem na zvolený polotovár, který má tloušťku $s = 1$ mm, je doporučeno provést vizuální kontrolu zkušebních součástí.

Nejvyšší povolené tahové zatížení u matice je $F_{\text{tah}} = 0,49$ kN, maximální povolený točivý moment má velikost $M_{\text{toč}} = 3$ N·m. U distančních sloupků je povolené maximální tahové zatížení $F_{\text{tah}} = 1,86$ kN, maximální točivý moment $M_{\text{toč}} = 2,2$ N·m. Vzhledem k tomu,

že lisovací prvky budou zajišťovat spojení elektronických komponent s nízkou hmotností, jsou tato maximální povolená zatížení dostačující.

3.11 Volba lisovacího stroje [42]

Při volbě lisovacího stroje je potřeba brát ohled především na potřebnou maximální lisovací sílu, která byla určena hodnotou $F_L = 27$ kN.

Společnost EMKO Case a.s. vlastní několik manuálních lisů, které obvykle disponují maximální lisovací silou do 22 kN.

Firma také vlastní pneumatický lisovací stroj Pemserter series 4. Základní parametry stroje jsou uvedeny v tabulce 13.

Tab. 13 Parametry stroje Pemserter Series 4 [42].

Lisovací síla [kN]	Tlak přívodu [bar]	Vyložení [mm]
4,5 – 53,4	6-7	457

Jelikož ruční lisy dosahují maximální síly 22 kN, nemusí být pro zalisování matic tato síla dostačující. Maximální lisovací síla stroje Pemserter Series 4 je 53,4 kN. Lisovací síla stroje lze měnit dle potřeby. Díky nastavitelnému intervalu potřebných sil pro lisování lze u lisování matic tuto hodnotu postupně experimentálně zvyšovat, čímž dojde ke zjištění ideální potřebné síly, která je výrobcem určena v intervalu $F_L = (18 \text{ až } 27)$ kN. Vzhledem k možnosti velmi rychlé výměny matrice je také tento stroj vhodný jak pro kusovou, tak i pro sériovou výrobu.

Z výše uvedených důvodů byl pro zalisování matic a distančních sloupků zvolen stroj Pemserter series 4 (obr. 79)



Obr. 79 Pemserter series 4 [42]

3.12 Práškové lakování a montáž počítačové skříně [47], [48], [49], [50], [51]

Po vysekání všech komponent počítačové skříně, vytvoření ohybů na krytech a panelech, zalisování matic a distančních sloupků následuje částečná montáž. Jedná se o složení předního a zadního panelu ke spodnímu krytu.

Po tomto úkonu následuje provedení povrchové úpravy barevným práškovým nástřikem na všech součástech. Prášková nástřiková barva je vlastně zhomogenizovaná hmota složená z pojiv, plniv, pigmentů a dalších přísad, které dodávají těmto nátěrovým hmotám vlastnosti jako tvrdost, lesk a podobně. Tato směs je rozemleta na prášek, který má suchou práškovou konzistenci. Pojiva v nástřikových hmotách jsou pryskyřice na bázi reaktoplastů (polyestery, polyuretany a podobně). Nátěrová barva má vysoký obsah pigmentů.

Nejčastěji používané prášky jsou epoxidové, polyesterové a epoxipolyesterové. Podle povrchu se také práškový lak dělí na typy s hladkým povrchem (lesklý povrch), jemně strukturním povrchem (pololesklý povrch) a hrubě strukturním povrchem (polomatiný povrch). Nanášení těchto prášků probíhá za pomoci stlačeného vzduchu, jehož smísením s práškem se dosáhne tekutého stavu.

Práškové lakování nevyžaduje použití základních nátěrů ani následné schnutí po nanesení prášku na výrobky. Jedná se o jednovrstvý nátěrový systém. Díky těmto aspektům se při práškovém lakování dosáhne vysoké produktivity a zároveň ekonomické úspory.

V porovnání s běžnými tekutými nátěrovými hmotami jsou práškové laky mnohem ekologičtější. Práškové barvy totiž nepoužívají rozpouštědla, a vzhledem k možnostem recirkulace prášku v aplikačním zařízení je dosahováno minimálních odpadů.

Pro rozdělení barev a jejich odstínů se používá vzorník RAL. Barvy a jejich odstíny podle vzorníku RAL jsou zobrazeny v příloze č. 10.

Práškové nástřiky se provádí na upravený povrch zbavený všech mechanických a chemických nečistot. Tato úprava probíhá ve stroji složeném z několika komor. Součásti se pověsí a dopraví do těchto komor, kde jsou postupně odmaštěné, opláchnuté a vysoušené ohřátým vzduchem.

Prášková barva se v aplikačním zařízení smíchá s tlakovým vzduchem, odkud se dopravuje do aplikační pistole. Aplikační pistolí je na vhodně upravený povrch nanášena barva, v případě počítačové skříně DMP – X6Pro s odstínem RAL 5010. Aby se prášek na součásti udržel, je v aplikačním zařízení „nabit“ elektrostatickou energií, což způsobí jeho přitažení a udržení na lakovaném výrobku. Dodání elektrostatické energie částicím prášku je zajištěno například třením o stěny aplikační pistole, které jsou vyrobeny z teflonu.

Ve finální fázi probíhá vytvrzování v peci při teplotě 140 až 180 °C. Po vytvrzení jsou součásti vytaženy z pece na vzduch, kde probíhá jejich chladnutí. Po vychlazení součástí na vzduchu následuje smontování komponent, celková kompletace, zabalení a expedice počítačové skříně.

4 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Na základě technického a ekonomického vyhodnocení budou zhodnoceny navržené výrobní technologie, pomocí nichž bude provedena výroba počítačové skříně DMP – X6Pro.

4.1 Technické zhodnocení

Pro výrobu počítačové skříně byla vybrána jako nejvýhodnější žárově pozinkovaná ocel s označením DX51D + Z275 MAC vhodná pro vybrané technologie tváření za studena.

Na materiálu je také možné provedení povrchové úpravy, konkrétně práškového lakování, požadované zákazníkem. Tento materiál je běžně dostupný ve formě plechových tenkostěnných polotovarů.

Při posouzení technologičnosti všech součástí pro technologii vysekávání je zřejmé, že všechny komponenty vyhovují technologickým podmínkám. Jedná se o kritické vzdálenosti mezi otvory, taktéž otvory a okraji, i velikosti šířek výstupků z profilů součástí. Nejkratší vzdálenost kruhových otvorů od okraje byla určena na hodnotu $a = 0,95$ mm (kritická hodnota je $a = 0,8$ mm). Nejkratší vzdálenost mezi obdélníkovými otvory byla určena na hodnotu $b = 1,1$ mm (kritická hodnota je $b = 1$ mm). Nejmenší velikost šířky výstupku byla určena na hodnotu $s = 10$ mm (kritická hodnota je $s = 2$ mm).

Kryty splňují všechny technologické podmínky pro ohraňování jako je kritická vzdálenost otvorů od ohybu. U předního a zadního panelu však tato podmínka splněna není. Nejkratší vzdálenost otvoru od ohybu je určena hodnotou $d = 1,65$ mm (kritická vzdálenost je $d = 2$ mm). Z důvodu požadavku zákazníka, který trval na zachování geometrie součástí, bylo nutné provést výrobu vzorků, na kterých byly tyto ohyby provedeny. Vytvoření ohybů proběhlo v pořádku a nevznikly žádné deformace nebo vady otvorů.

Pro navrženou výrobní technologii vysekávání byl zvolen nejvýhodnější nástřihový plán, kterým je varianta D. Tato varianta uvažuje jako polotovar plechovou tabuli o tloušťce 1 mm a rozměrech 1250×2500 mm. Na nástřihovém plánu se celkem nachází osmnáct sad počítačové skříně. Po vysekání všech komponent bude zůstatek 31,5 % odpadu ve formě zbytkové mříže, kterou nebude možné využít na další zpracování.

Pro operace vysekávání byly zvoleny nástroje s požadovanou velikostí střižné vůle, která byla určena na hodnotu $v = 0,2$ mm pro zpracování požadovaného polotovaru o tloušťce 1 mm. Jelikož firma všemi navrženými nástroji pro vysekávání disponuje, není nutné kupovat žádné další nové nástroje.

Při výpočtech střižných sil pro nástroje s rovnou střižnou hranou byla vyhodnocena jako nejvyšší síla pro vysekávání nástrojem č. 17. Rozměry průřezu nástroje jsou $76,2 \times 5$ mm. Tato nejvyšší síla je určena hodnotou $F_{cs} = 71\,007$ N. Pro tento a další nástroje, u kterých vyšla střižná síla vyšší než 15 kN, bylo doporučeno použít razníky se šikmou střižnou hranou. Jedná se o nástroje č. 8, 9, 14, 17. Nejvyšší střižná síla je poté určena hodnotou $F_{csx} = 20\,267$ N, která platí pro nástroj č. 17 se šikmou střižnou hranou.

Na základě této nejvyšší střižné síly byl pro vysekávání zvolen stroj od firmy TRUMPF TruPunch 2000, který firma využívá. Maximální střižná síla stroje má hodnotu 165 kN. Tento stroj je schopný zpracovávat maximální rozměry tabulí 1250×2500 mm, což přesně odpovídá zvoleným rozměrům polotovaru. Také má potřebné množství nástrojových stanic v nástrojovém zásobníku, kam je možné umístit 17 nástrojů + 3 programovatelné klapky, nutné pro uchycení tabule.

Program pro vysekávání byl vytvořen pomocí programu TruTops Punch, který vytvořil všechny pracovní dráhy pro vybrané nástroje na základě předem určených parametrů.

Jedná se například o maximální velikost posuvu nastavenou na maximální hodnotu, čímž bylo zajištěno dosažení minimálního výrobního času pro zpracování tabule. Čas pro zpracování jedné tabule byl určen pomocí programu TruTops Punch hodnotou $t_v = 74,7$ min.

Při výpočtech ohraňovacích sil pro jednotlivé ohyby vyšla nejvyšší síla pro ohyb č. 3 a č. 4, které budou vytvořeny na panelech. Její hodnota je $F_{ohr} = 20,62$ kN. Ohraňovací síla na jeden metr ohybu je $101,11$ kN·m⁻¹.

Nástroje pro ohraňování výrobků byly zvoleny z náčiní, která firma EMKO Case. a.s. využívá k výrobě. Při volbě razníků a matic byl brán zřetel na to, aby bylo možné všechny výrobky ohraňovat za pomoci jedné sady nástrojů. Dalším faktorem pro výběr nástrojů byla nejvyšší potřebná ohraňovací síla. Z výše uvedených důvodů byl vybrán razník s označením OW202/K, jehož maximální dovolené zatížení je 600 kN·m⁻¹. Razník se skládá ze tří částí, z nichž dva jsou dlouhé 100 mm, a mezi ně je vložen razník se stejným označením o délce 4 mm. Celková délka razníku je tedy 204 mm. Tato délka byla vybrána, aby bylo možné provést i poslední dva ohyby na panelech o délce 206 mm, kdy již budou po stranách vytvořeny dva ohyby z předchozích operací. Při vyšší uvažované délce razníků po celém ohybu by došlo ke kolizi výrobku s nástrojem. Matrice pro ohraňování byla zvolena s označením EV/S W6/84°. Její maximální dovolené zatížení je 290 kN · m⁻¹. Zvolená délka matrice je 250 mm.

Volba stroje byla provedena s ohledem na nízké ohraňovací síly a krátké ohyby. Vybrán byl hydraulický ohraňovací lis TRUMPF TrumaBend V50 s maximální ohraňovací silou 500 kN. Tento stroj splňuje veškeré požadavky nutné pro vytvoření všech ohybů na komponentách.

Doba pro vytvoření ohybů na jednom krytu byla stanovena experimentem na $0,1$ min. Doba pro vytvoření ohybů na jednom panelu byla určena na $0,2$ min.

Pro zalisování distančních sloupků a matic je nutné vyvinout sílu o velikosti 27 kN. S ohledem na tuto sílu byl pro lisování vybrán pneumatický lisovací stroj Pemserter Series 4, který disponuje maximální lisovací silou $53,4$ kN.

Čas pro zalisování matic do zadního panelu byl experimentem stanoven na $0,12$ min. Doba potřebná pro zalisování distančních sloupků do spodního krytu byla určena na $0,25$ min.

Povrchová úprava, kterou je práškový nástřik barvou s odstínem RAL 5010, bude provedena v práškové lakovně, kterou firma vlastní.

4.2 Ekonomické zhodnocení

Nejdůležitější položkou pro ekonomické vyhodnocení jsou náklady na materiál, který obvykle tvoří nejvyšší část výdajů na výrobu. Z tohoto důvodu byly použité technologie navrhovány co možná nejúsporněji. Další náklady, které je nutné uvažovat, jsou na nástroje a na provoz strojů.

Zvoleným polotovarem je plechová tabule o tloušťce 1 mm a rozměrech 1250×2500 mm z pozinkované oceli s označením DX51D + Z275 MAC. Společnost EMKO Case a.s. obvykle odebírá plechové polotovary od firmy ALFUN.

Pro nástřihový plán, kde se na jedné plechové tabuli nachází 18 sad počítačové skříně ($n_{sad} = 18$), a pro výrobu celé série ($Q = 1000$ ks) je potřeba tabulí:

$$n_{tab} = \frac{Q}{n_{sad}} = \frac{1000}{18} = 55,55 \cong 56 \text{ [ks]}, \quad (4.1)$$

kde: n_{tab} – počet tabulí [ks],

Q – velikost výrobní série [ks],

n_{sad} – počet sad počítačových skříní na tabuli [ks].

Plocha jedné plechové tabule:

$$S_{tab} = L_{tab} \cdot B_{tab} = 2500 \cdot 1250 = 3125000 \text{ mm}^2 = 3,125 \text{ [m}^2\text{]}, \quad (4.2)$$

kde: S_{tab} – plocha tabule [mm^2],

L_{tab} – délka tabule [mm],

B_{tab} – šířka tabule [mm].

Při hustotě materiálu pro ocel $\rho_{ocel} = 7850 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, je hmotnost jedné tabule:

$$m_{tab} = S_{tab} \cdot s \cdot \rho_{ocel} = 3,125 \cdot 0,001 \cdot 7850 = 24,53 \text{ [kg]}, \quad (4.3)$$

kde: m_{tab} – hmotnost tabule [kg].

Hmotnost všech plechových tabulí je potom:

$$m_Q = n_{tab} \cdot m_{tab} = 56 \cdot 24,53 = 1356,9 \text{ [kg]}, \quad (4.4)$$

kde: m_Q – hmotnost všech polotovarů [kg].

Celková cena všech plechových polotovarů při ceně $N_{1kg} = 19 \text{ Kč}$ za kilogram ocelového materiálu je:

$$C_{pol} = C_{1kg} \cdot m_Q = 19 \cdot 1356,9 = 25781,1 \text{ [Kč]}, \quad (4.5)$$

kde: C_{pol} – celková cena na polotovary [Kč],

C_{1kg} – cena za kilogram materiálu [$\text{Kč}\cdot\text{kg}^{-1}$].

Množství vzniklého odpadu z jedné tabule plechu je pro zvolenou variantu nástřihového plánu 31,5 %. Hmotnost odpadu z jedné tabule plechu je potom:

$$m_{odpad} = \eta_{odp} \cdot m_{tab} = 0,315 \cdot 24,53 = 7,7 \text{ [kg]}, \quad (4.6)$$

kde: m_{odpad} – hmotnost odpadu z jednoho polotovaru [kg],

η_{odpad} – součinitel nevyužitého materiálu [-].

Celková hmotnost odpadu z celé výrobní série:

$$m_{celkodpad} = m_{odpad} \cdot n_{tab} = 7,7 \cdot 56 = 431,2 \text{ [kg]}, \quad (4.7)$$

kde: $m_{celkodpad}$ – hmotnost odpadu ze všech polotovarů [kg].

Celková cena odpadu (cena za kilogram ocelového odpadu je určena hodnotou $C_{odpad} = 8 \text{ Kč}\cdot\text{kg}^{-1}$):

$$C_{celkodpad} = m_{celkodpad} \cdot C_{odpad} = 431,2 \cdot 8 = 3449,6 \text{ [Kč]}, \quad (4.8)$$

kde: $C_{celkodpad}$ – celková cena odpadu [Kč],

C_{odpad} – cena za kilogram odpadu [$\text{Kč}\cdot\text{kg}^{-1}$].

Celkové náklady na materiál:

$$N_{mat} = C_{pol} - C_{celkodpad} = 25781,1 - 3449,6 = 22331,5 \text{ [Kč]}. \quad (4.9)$$

Náklady na nástroje:

$$N_{celknástroje} = 0 \text{ [Kč]}. \quad (4.10)$$

Jelikož byly pro výrobu počítačové skříně vybrány vysekávací i ohraňovací nástroje, které firma EMKO Case a.s. vlastní, není nutné nakupovat žádné nové nástroje. Z tohoto důvodu jsou náklady na nástroje nulové, což podstatně snižuje celkové výrobní náklady.

Náklady na provoz strojů budou určeny na základě výrobních časů potřebných pro provedení jednotlivých operací.

Dle programu TruTops Punch byl stanoven čas na zpracování jedné tabule na hodnotu $t_v = 74,7 \text{ min}$. K tomuto času je třeba přičíst čas na odebrání materiálu, odstranění odpadu a založení nové tabule. Tento čas byl určen na $t_{výměny} = 6,3 \text{ min}$.

Celkový čas na zpracování jednoho plechového polotovaru vysekáváním:

$$t_{celkVys} = t_v + t_{výměny} = 74,7 + 6,3 = 81 \text{ min.} \quad (4.11)$$

Doba pracovní směny ve firmě je obvykle $t_{směny} = 8$ hod. Před započítáním vysekávání je vždy nutné provést seřízení stroje, údržbu nástrojů a podobně. Čas pro tyto úkony byl určen na hodnotou $t_{přVys} = 0,5$ hod. Velikost doby výrobního času pro vysekávání na jednu směnu je tedy stanovena na hodnotu $t_{Vys} = 7,5$ hod.

Počet polotovarů zpracovaných v jedné pracovní směně:

$$n_{směnyVys} = \frac{t_{Vys} \cdot 60}{t_{celkVys}} = \frac{7,5 \cdot 60}{81} = 5,55 \approx 5 \text{ [ks]}. \quad (4.12)$$

Počet směn, které jsou potřeba pro vysekání celé výrobní série:

$$n_{celkVys} = \frac{n_{tab}}{n_{1směnyVys}} = \frac{56}{5} = 11,2 \text{ [směn]}. \quad (4.13)$$

Při uvažovaných hodinových nákladech na provoz stroje TRUMPF TruPunch 2000 včetně mzdy zaměstnanců a nákladů na energie $N_{hVys} = 1\,500 \text{ Kč} \cdot \text{hod}^{-1}$ jsou celkové náklady pro vysekání celé výrobní série:

$$N_{celkVys} = n_{celkVys} \cdot N_{hVys} = 11,2 \cdot 7,5 \cdot 1500 = 126000 \text{ [Kč]}. \quad (4.14)$$

Čas pro ohnutí jednoho krytu je $t_{ohrk} = 0,1$ min. Doba pro ohranění panelu je $t_{ohrp} = 0,2$ min. Doba pro ohranění jedné sady počítačové skříně, tj. dvou krytů a dvou panelů je:

$$t_{celkOhr} = 2 \cdot t_{ohrk} + 2 \cdot t_{ohrp} = 2 \cdot 0,1 + 2 \cdot 0,2 = 0,6 \text{ [min]}. \quad (4.15)$$

Jelikož jsou nástroje zvoleny tak, že je na nich možné provést všechny ohyby, nevznikají žádné prodlevy pro výměnu nástrojů, čímž je ušetřen celkový čas na provoz ohraňovacího stroje.

Doba pracovní směny ve firmě je $t_{směny} = 8$ hod. Před započítáním ohraňování je potřeba provést seřízení stroje, nastavení dorazů, kontrolu prvních ohybů pro zjištění odpružení a podobně. Přípravný čas pro provedení těchto operací byl určen na hodnotu $t_{přOhr} = 0,5$ hod. Velikost doby výrobního času pro ohraňování na jednu směnu je tedy stanovena na hodnotu $t_{Ohr} = 7,5$ hod.

Počet ohnutých sad počítačové skříně za jednu směnu je:

$$n_{směnyOhr} = \frac{t_{Ohr} \cdot 60}{t_{celkOhr}} = \frac{7,5 \cdot 60}{0,6} = 750 \text{ [ks]}. \quad (4.16)$$

Počet směn, které jsou potřeba na ohranění celé výrobní série:

$$n_{celkOhr} = \frac{Q}{n_{směnyOhr}} = \frac{1000}{750} = 1,34 \text{ [směn]}. \quad (4.17)$$

Při uvažovaných hodinových nákladech na provoz stroje TRUMPF TruBend 5130 včetně mzdy zaměstnanců a nákladů na energie $N_{hOhr} = 900 \text{ Kč} \cdot \text{hod}^{-1}$ jsou celkové náklady pro ohranění celé výrobní série:

$$N_{celkOhr} = n_{celkOhr} \cdot N_{hOhr} = 1,34 \cdot 7,5 \cdot 900 = 9045 \text{ [Kč]}. \quad (4.18)$$

Čas pro zalisování distančních sloupků do jednoho krytu je $t_{Lisk} = 0,25$ min. Doba pro zalisování matic do panelu je $t_{Lisp} = 0,12$ min. Doba pro zalisování všech prvků do jedné sady počítačové skříně, tj. jednoho krytu a jednoho panelu je:

$$t_{celkLis} = t_{Lisk} + t_{Lisp} = 0,25 + 0,12 = 0,37 \text{ [min]}. \quad (4.19)$$

Doba pracovní směny ve firmě je $t_{směny} = 8$ hod. Před započítáním lisování je potřeba provést seřízení stroje, výměnu matic, nastavení lisovací síly, a provedení zkušební operace a kontrolu prvních kusů. Přípravný čas pro provedení těchto operací byl určen na hodnotu $t_{přLis} = 0,1$ hod. Velikost doby výrobního času pro ohraňování na jednu směnu je tedy stanovena na hodnotu $t_{Lis} = 7,9$ hod.

Počet zalisovaných sad počítačové skříně za jednu směnu je:

$$n_{směnyLis} = \frac{t_{Lis} \cdot 60}{t_{celkLis}} = \frac{7,9 \cdot 60}{0,37} = 1281 [ks]. \quad (4.20)$$

Počet směn, které jsou potřeba na zalisování celé výrobní série:

$$n_{celkLis} = \frac{Q}{n_{směnyLis}} = \frac{1000}{1281} = 0,78 [směn]. \quad (4.21)$$

Při uvažovaných hodinových nákladech na provoz stroje Pemserter Series 4 včetně mzdy zaměstnanců a nákladů na energie $N_{hLis} = 500 \text{ Kč} \cdot \text{hod-1}$ jsou celkové náklady na zalisování všech prvků v rámci celé výrobní série:

$$N_{celkLis} = n_{celkLis} \cdot N_{hLis} = 0,78 \cdot 7,9 \cdot 500 = 3081 [Kč]. \quad (4.22)$$

Z výše vypočtených hodnot budou určeny celkové náklady na zhotovení celé výrobní série počítačové skříně:

$$N_{celk} = N_{mat} + N_{celknastroje} + N_{celkVys} + N_{celkOhr} + N_{celkLis} = \\ N_{celk} = 22331,5 + 0 + 126000 + 9045 + 3081 = 160457,5 [Kč]. \quad (4.23)$$

Celková cena na výrobu jedné sady počítačové skříně je:

$$C_{1sada} = \frac{N_{celk}}{Q} = \frac{160457,5}{1000} = 160,5 [Kč]. \quad (4.24)$$

Celkové náklady na výrobu s uvažovaným ziskem 20%:

$$N_{celkzisk} = N_{celk} \cdot 1,2 = 160\,457,5 \cdot 1,2 = 192\,549 [Kč]. \quad (4.25)$$

Cena jedné sady s uvažovaným ziskem je:

$$C_{1sadzisk} = \frac{N_{celkzisk}}{Q} = \frac{192549}{1000} = 193 [Kč]. \quad (4.26)$$

Čistý zisk z jedné vyrobené sady:

$$C_{čzisk1sada} = C_{1sadzisk} - C_{1sada} = 193 - 160,5 = 32,5 [Kč]. \quad (4.27)$$

Celkový čistý zisk z celé výrobní série:

$$C_{celkzisk} = C_{čzisk1sada} \cdot Q = 32,5 \cdot 1000 = 32500 [Kč]. \quad (4.28)$$

Celkové náklady na výrobu celé výrobní série počítačové skříně jsou 160457,5 Kč. Při uvažování zisku 20% je cena jedné součásti 193 Kč. Do nákladů na výrobu nejsou uvažovány náklady na práškové lakování, o které by byla celková cena navýšena. Všechny ceny jsou uváděné bez DPH.

5 ZÁVĚRY

Počítačová skříň DMP – X6Pro bude vyrobena z plechové tabule o tloušťce 1 mm z pozinkované oceli DX51D + Z275 MAC, která je ve firmě EMKO Case a.s. běžně používána. Velikost výrobní série je 1 000 ks/rok.

Jelikož ve strojovém parku firmy jsou vysekávací a ohraňovací stroje, byly pro výrobu počítačové skříně vybrány technologie vysekávání a ohraňování. Na vysekávacím stroji budou vytvořeny veškeré otvory a vnitřní tvary komponent, na ohraňovacím stroji budou poté provedeny ohyby. Po ohnutí komponent budou na lisovacím stroji do zadního panelu zalisovány dvě matice, do spodního krytu čtyři distanční sloupky.

Pro navržené součásti byly vytvořeny jejich rozvinuté tvary, které poté byly využity pro návrh nástřihového plánu. Z navržených variant nástřihových plánů byl vybrán nejvhodnější, jehož součinitel využití materiálu dosahuje 68,5 %. Na jedné tabuli je umístěno 18 sad počítačové skříně. Zvoleným polotovarem pro vysekávání je plechová tabule o tloušťce 1 mm a rozměrech 1 250 × 2 500 mm.

Pomocí programu TruTops Punch byly zvoleny vysekávací nástroje. Pro vysekání sady počítačové skříně bylo vybráno sedmnáct nástrojů. Pro všechny nástroje byly vypočteny střížné síly a práce. Nejvyšší střížná síla vyšla pro nástroj č. 17, který má šikmou střížnou hranu. Nejvyšší potřebná střížná síla, kterou stroj musí disponovat je 20 267 N.

Podle maximální střížné síly a velikosti polotovaru byl pro vysekávání vybrán stroj TruPunch 2000. Stroj je schopen vyvinout maximální střížnou sílu 165 kN.

Pro ohraňování byly vybrány nástroje dostupné ve společnosti. Byl zvolen razník s označením OW202/K, jehož maximální zatížení je 600 kN·m⁻¹ a matrice s označením EV/S W6/84° s maximálním dovoleným zatížením 290 kN·m⁻¹. Délka matrice je 250 mm. Celková délka razníku je 204 mm.

Pro ohýbání byla vypočtena ohraňovací síla vztažená na jeden metr ohybu, která je 101,11 kN·m⁻¹. Maximální potřebná síla je pro ohyby č. 3 a č. 4 na panelech a její hodnota je 20,26 kN.

Pro ohraňování byl vybrán ohraňovací lis TrumaBend V50. Tento stroj je schopen vyvinout maximální ohraňovací sílu o velikosti 500 kN.

Pro zalisování matic a distančních sloupků do komponent počítačové skříně byl vybrán stroj, který disponuje maximální lisovací silou 53,4 kN. Dle výrobce je nejvyšší doporučená síla pro zalisování matice do plechového materiálu 27 kN, což stroj splňuje s rezervou.

Výsledný vzhled součástí je poté dosažen povrchovou úpravou. Na všechny viditelné plochy součástí je nanášena modrá barva s odstínem RAL 5010. Celý proces povrchové úpravy je proveden v lakovně, kterou společnost EMKO Case a.s. disponuje.

Na základě technicko-ekonomického vyhodnocení vyplynulo, že celkové náklady na výrobu celé výrobní série je 160 457,5 Kč. Pro uvažovaný čistý zisk 20% byla zjištěna cena jedné počítačové skříně v hodnotě 193 Kč. Do této ceny nejsou uvažovány náklady na povrchovou úpravu.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ [52]

1. DVOŘÁK, Milan a Michaela MAREČKOVÁ. *Technologie tváření* [online]. 1. 2006 [cit. 2019-03-22]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/technologie_tvareni/index.htm
2. Strojírenství. *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001 [cit. 2019-03-23]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Strojirenstvi>
3. IT skříň. *EMKO Case* [online]. [cit. 2019-03-23]. Dostupné z: <https://www.emko.cz/produkty/it-skrine>
4. Plechové výlisky. *Rostra* [online]. Vizovice: Czech Trade International s.r.o., 2019 [cit. 2019-04-27]. Dostupné z: <https://rostra.trade.cz/plechove-vylisky>
5. Interní dokumenty. EMKO Case a.s. Brno, 2019.
6. *Ocelové plechy válcované za studena žárově pozinkované* [online]. [cit. 2019-03-23]. Dostupné z: <http://www.alfun.cz/plechy-valcovane-za-studena-zarove-pozinkovane>
7. *Pohliníková ocel s nízkým obsahem uhlíku* [online]. Praha, 2019 [cit. 2019-03-23]. Dostupné z: <https://www.impextb.cz/cs/materialy/pohlinikovana-ocel-s-nizka-obsahem-uhliku>
8. SYKÁČEK, Jiří. *Výroba součástí z povrchově upraveného plechu* [online]. Brno, 2009 [cit. 2019-05-04]. Dostupné z: <ust.fme.vutbr.cz/tvareni/publikace>. Bakalářská práce. FSI VUT v Brně, Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí práce Michaela Marečková.
9. KOŘÁN, Pavel. *Seriál na téma lasery - laserové řezání (laser cutting)* [online]. Praha, 2011 [cit. 2019-03-23]. Dostupné z: <http://www.lao.cz/lao-info-49/serial-na-tema-lasery---laserove-rezani-laser-cutting-129>
10. Co je to řezání vodním paprskem?. *Řežeme vodou* [online]. Ostrava, 2011 [cit. 2019-03-23]. Dostupné z: <http://www.rezeme-vodou.cz/rezani-vodnim-paprskem.php>
11. LAPŠANSKÁ, Hana. *Laserové technologie v praxi* [online]. Olomouc, 2010, s. 17 [cit. 2019-03-23]. Dostupné z: <http://fyzika.upol.cz/cs/system/files/download/vujtek/granty/laser.pdf>
12. OPEKAR, Jan a Lukáš OPEKAR. *Řezání kovů laserem. Opetech* [online]. Velešín, 2019 [cit. 2019-03-23]. Dostupné z: <https://www.opetech.cz/laserove-rezani-kovu-a-plechu>

13. Originální příslušenství BFT. *BFT* [online]. [cit. 2019-03-23]. Dostupné z: <http://cz.bft-pumps.com/Rezani-vodnim-paprskem/PRISLUSENSTVI>
14. MRŇA, Libor. *Technologie využívající laser* [online]. 2018, s. 28 [cit. 2019-03-23]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/img/opory/hsv_specialni_metody_svarovani_rezani_lasem_2013_mrna.pdf
15. FINTA, Luděk, Roman HALTUF, František TATÍČEK a Tomáš PILVOUSEK. *Akademie tváření: Stříhání* [online]. 2010 [cit. 2019-03-23]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-strihani.html>
16. LENFELD, Petr. *Technologie plošného tváření – ohýbání. Katedra strojírenské technologie* [online]. 2018 [cit. 2019-03-23]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/07.htm#074
17. DVOŘÁK, Roman, František TATÍČEK, Tomáš PILVOUSEK, Roman HALTUF a Luděk FINTA. *AKADEMIE TVÁŘENÍ: OHÝBÁNÍ* [online]. 2010, s. 3 [cit. 2019-03-23]. Dostupné z: [https://www.mmspektrum.com/content/100716_Akademie_tva%C5%99eni_oh%C3%BDb%C3%A1n%C3%AD\(1\).pdf](https://www.mmspektrum.com/content/100716_Akademie_tva%C5%99eni_oh%C3%BDb%C3%A1n%C3%AD(1).pdf)
18. Naše technologie. *Emko Case* [online]. Brno, 2019 [cit. 2019-03-23]. Dostupné z: <https://www.emko.cz/nase-technologie>
19. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006, 225 s. ISBN 80-214-2374-9.
20. ČADA, Radek. *TECHNOLOGIE TVÁŘENÍ A SLÉVÁNÍ – TEORETICKÝ ZÁKLAD*. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2013, s. 19. ISBN 978-80-248-3015-5.
21. POPELÁŘ, Martin. *Výroba ochranného plechu ke dveřím*. Brno, 2018, 47 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření. Vedoucí práce Ing. Eva Peterková, Ph.D.
22. *Projekt* [online]. Praha, s. 53 [cit. 2019-03-24]. Dostupné z: <http://u12133.fs.cvut.cz/assets/subject/files/109/projekt.pdf>
23. ZDENĚK, Lidmila. *Teorie a technologie tváření I*. ISBN 978-80-7213-579-6.

24. LENFELD, Petr. Technologie plošného tváření - stříhání. *Katedra strojírenské technologie* [online]. [cit. 2019-04-06]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/06.htm
25. *Punching tools* [online]. Gerlingen: TRUMPF, 2019, s. 212 [cit. 2019-04-06]. Dostupné z: https://www.trumpf.com/filestorage/TRUMPF_Master/Products/Services/01_brochures/TRUMPF-punching-tools-catalog-EN.pdf
26. *Punching at Glance* [online]. 2013, s. 52 [cit. 2019-04-06]. Dostupné z: https://www.trumpf.com/filestorage/TRUMPF_Master/Products/Services/01_brochures/TRUMPF-punching-at-a-glance-brochure-EN.pdf
27. TATÍČEK, František, Martin KUBELKA a Tomáš Pilvousek. *Akademie tváření: Technologičnost konstrukce v návrhu výstřížků* [online]. 2011 [cit. 2019-04-08]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-technologicnost-konstrukce-v-navrhu-vystrizku.html>
28. LEIBINGER-KAMMÜLLER, Nicol. *Fascination of Sheet Metal*. Würzburg: Vogel Buchverlag, 2006. ISBN 13978-3-8343-3071-0.
29. *Punching: Classic sheet metal processing in new dimensions. Free books and manuals* [online]. TRUMPF GmbH + Co. 2004 [cit. 2019-04-15]. Dostupné z: <https://gab.wallawalla.edu/~ralph.stirling/classes/engr480/docs/Assembly/worldofsheetmetal2.pdf>
30. *The PUNCH. PrimaPower: Laser and sheet metal machinery* [online]. [cit. 2019-04-15]. Dostupné z: <https://www.primapower.com/the-punch>
31. KUDLÁČ, Lukáš. *Návrh výroby krytu vany regulátoru*. Brno, 2017, 73 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí práce Ing. Eva Peterková
32. ČADA, Radek. *TECHNOLOGIE TVÁŘENÍ A SLÉVÁNÍ – TEORETICKÝ ZÁKLAD: OHÝBÁNÍ* [online]. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2013, s. 20 [cit. 2019-04-13]. ISBN 978-80-248-3015-5.
33. *Ohraňovací nástroje* [online]. 10. Burbach: UKB – Uwe Krumm [cit. 2019-04-20]. Dostupné z: <http://homer.maxa.name/sptech/UKB10.pdf>

34. DVOŘÁK, Roman, František TATÍČEK, Lukáš TURZA a Martin OUŠKA. *Akademie tváření: Technologičnost konstrukce při ohýbání* [online]. Praha: ČVUT v Praze, Fakulta strojní, 2012 [cit. 2019-04-20]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-technologicnost-konstrukce-pri-ohybani.html>
35. LOMBARD, M. More Corner Detail. *Siemens Global Website* [online]. 2013 [cit. 2019-04-29]. Dostupné z: <https://community.plm.automation.siemens.com/t5/Solid-Edge-Blog/More-Corner-Detail/ba-p/18785>
36. *Tool Catalog* [online]. TRUMPF Maschinen Austria GesmbH & Co., 2018, s. 259 [cit. 2019-04-21]. Dostupné z: https://www.trumpf.com/filestorage/TRUMPF_Master/Products/Services/01_brochures/TRUMPF-bending-tools-catalog-EN.pdf
37. *Press Brake Productivity ohraňovacích lisů* [online]. Lochem [cit. 2019-04-21]. Dostupné z: https://www.wila.nl/images1/wila/data/pdf/Press%20Brake%20Productivity%20Quickstart_CZ.pdf
38. BITZEL, Hubert, Johanna BORCHERDT, Jörg MÜLLER, Frank NEIDHART, Klaus PAREY, Armin RAU, Sabine RIECKE, Annegret SCHMID, Gabriele TRENTMANN, Gerald VORLÄNDER, Kraus ZIMMERMANN. Bending: Sheet metal processing with corners and edges. *The Fascinating World of Sheet Metal* [online]. TRUMPF GmbH + Co. s. 13 [cit. 2019-04-21]. Dostupné z: <https://gab.wallawalla.edu/~ralph.stirling/classes/engr480/docs/Assembly/worldofsheetmetal.pdf>
39. CNC hydraulické ohraňovací lisy – výhodné ceny. *Dovoz strojů* [online]. Zlín, 2016 [cit. 2019-04-21]. Dostupné z: <http://dovoz-stroju.cz/cnc-hydraulicke-ohranovaci-lisy-vyhodne-ceny>
40. *Lisovací matice* [online]. Brno: HEYMAN Manufacturing, s. 2 [cit. 2019-05-05]. Dostupné z: <https://www.heyman.cz/pdf/lisovaci-matice-ocel-PEM/688/t/p>
41. *Lisovací distanční sloupky* [online]. Brno: Heyman Manufacturing, s. 3 [cit. 2019-05-05]. Dostupné z: https://www.heyman.cz/media/useruploads/files/documentation_cz/nem/einpresssysteme/lisovaci_distancni_sloupky/lisovaci_distancni_sloupky-ocel_uzavrene.pdf
42. *Nářadí* [online]. Brno: HEYMAN Manufacturing, s. 1 [cit. 2019-05-05]. Dostupné z: https://www.heyman.cz/media/useruploads/files/documentation_cz/nem/einpresswerkzeuge/pemserter_4.pdf

43. DRÁPAL, Michal. *Lisování matic do plechových polotovarů*. Brno, 2016. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce Milan Kalivoda.
44. *Náradí: Lisy pro lisovací systémy* [online]. HEYMAN Manufacturing, s. 1 [cit. 2019-05-05]. Dostupné z: https://www.heyman.cz/media/useruploads/files/documentation_cz/nem/einpresswerkzeuge/pemserter_2000.pdf
45. Pneumatické montážní lisy EMG. *Pramark* [online]. Praha, 2017 [cit. 2019-05-05]. Dostupné z: <https://www.pramark.cz/montazni-lisy/pneumaticke-lisy>
46. *Wesgar Installs Trumpf TrumaBend V50* [online]. 2015 [cit. 2019-05-05]. Dostupné z: <https://www.wesgar.com/news/wesgar-installs-trumpf-trumabend-v50>
47. KUBÍČEK, Jaroslav. *Nátěrové hmoty* [online]. Brno, 2018, s. 42 [cit. 2019-05-05]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/img/opory/hpu Renovace_a_povrchove_upravy_naterove_hmoty_2018_kubicek.pdf
48. Co je to práškové lakování? *Fehas* [online]. Most - Velebudice, 2018 [cit. 2019-05-05]. Dostupné z: <http://www.fehas.cz/praskova-lakovna/co-je-to-praskove-lakovani>
49. Práškové barvy. *Fehas* [online]. Most - Velebudice, 2018 [cit. 2019-05-05]. Dostupné z: <http://www.fehas.cz/praskova-lakovna/praskove-barvy>
50. Příprava povrchu před lakováním. *Fehas* [online]. Most - Velebudice, 2018 [cit. 2019-05-05]. Dostupné z: <http://www.fehas.cz/praskova-lakovna/predpriprava>
51. Typy prášků a druhy povrchů. *Fehas* [online]. Most - Velebudice, 2018 [cit. 2019-05-05]. Dostupné z: <http://www.fehas.cz/praskova-lakovna/typy-prasku-a-druhy-povrchu>
52. CITACE PRO. *Generátor citací* [online]. 2016 [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: <http://citace.lib.vutbr.cz/info>
53. Punching Machines – TruPunch 2000. TRUMPF [online]. 2014 [cit. 2014-05-07]. Dostupné z: https://www.trumpf.com/en_INT/products/machines-systems/punching-machines/trupunch-2000
54. Vzorník RAL. *Fehas* [online]. Most - Velebudice, 2018 [cit. 2019-05-05]. Dostupné z: <http://www.fehas.cz/praskova-lakovna/vzornik-ral>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Označení	Legenda	Jednotka
A	Tažnost	[%]
A _o	Ohybová práce	[J]
A _v	Střižná práce	[J]
a	Nejkratší vzdálenost mezi kruhovými otvory	[mm]
B _{tab}	Šířka tabule	[mm]
b	Nejkratší vzdálenost mezi čtvercovými a obdélníkovými otvory	[mm]
C _{1kg}	Cena za kilogram materiálu	[Kč·kg ⁻¹]
C _{1sada}	Celková cena na výrobu jedné počítačové sady	[Kč]
C _{1sadzisk}	Cena jedné sady s uvažovaným ziskem	[Kč]
C _{celkodpad}	Celková cena odpadu	[Kč]
C _{celkzisk}	Celkový čistý zisk z celé výrobní série	[Kč]
C _{čzisk1sada}	Čistý zisk z jedné vyrobené sady počítačové skříně	[Kč]
C _{odpad}	Cena za kilogram odpadu	[Kč·kg ⁻¹]
C _{pol}	Celková cena za polotovary	[Kč]
c	Nejkratší vzdálenost mezi obdélníkovým otvorem a okrajem	[mm]
c _s	Součinitel střižné vůle	[-]
D	Nejmenší vnější průměr	[mm]
D _{otvor}	Průměr otvoru	[mm]
d	Nejkratší vzdálenost otvoru od ohybu	[mm]
E	Modul pružnosti v tahu	[MPa]
e	Nejmenší průměr kruhového otvoru	[mm]
F	Délka závitu	[mm]
F _c	Celková střižná síla	[N]
F _L	Lisovací síla	[kN]
F _o	Ohybová síla	[N]
F _{ohr}	Ohraňovací síla	[kN]
F _{ohr1}	Ohraňovací síla na jeden metr ohybu	[kN·m ⁻¹]
F _p	Přidržovací síla	[N]
F _{prot}	Protlačovací síla	[N]
F _{smax}	Střižná síla	[N]
F _{smaxx}	Maximální střižná síla pro razník se šikmou střižnou plochou	[N]
F _{sti}	Stírací síla	[N]
F _{tah}	Maximální dovolené tahové zatížení na zalisovaný prvek	[kN]
F _{tva}	Tvářecí síla	[N]
f	Nejmenší šířka obdélníkového otvoru	[mm]
H	Největší průměr matice	[mm]
h	Hloubka vniknutí při stříhání	[mm]
h _{el}	Hloubka pružného vniku nástroje do materiálu při stříhání	[mm]
h _{pl}	Hloubka plastického vniku nástroje do materiálu při stříhání	[mm]
h _r	Dráha razníku při ohraňování	[mm]
h _s	Hloubka vniknutí, kdy dojde k úplnému porušení při stříhání	[mm]
K	Součinitel odpružení	[-]
k	Součinitel zohledňující polohu neutrální vrstvy	[-]
k _{prot}	Součinitel protlačovací síly	[-]
k _{sti}	Součinitel stírací síly	[-]
L	Délka nástroje	[mm]
L _c	Celková délka ohybu	[mm]
L _m	Zalisovaná část matice	[mm]
L _p	Vzdálenost mezi podporami	[mm]

L_s	Obvod střížníku	[mm]
L_{sl}	Celková délka sloupku	[mm]
L_{tab}	Délka tabule	[mm]
l	Délka ohybu	[mm]
l_i	Délka rovného úseku	[mm]
l_o	Délka ohnuté části	[mm]
M_o	Ohybový moment	[N·mm]
M_{oel}	Elastický ohybový moment	[N·mm]
M_{opl}	Plastický ohybový moment	[N·mm]
$M_{toč}$	Maximální dovolený točivý moment na zalisovaný prvek	[N·m]
$m_{celkodpad}$	Hmotnost odpadu ze všech polotovarů	[kg]
m_{odpad}	Hmotnost odpadu z jednoho polotovaru	[kg]
m_Q	Hmotnost všech polotovarů	[kg]
m_{tab}	Hmotnost tabule	[kg]
N_{celk}	Celkové náklady na zhotovení celé výrobní série	[Kč]
$N_{celkLis}$	Celkové náklady na zalisování celé série	[Kč]
$N_{celknástroje}$	Celkové náklady na nástroje	[Kč]
$N_{celkOhr}$	Celkové náklady na ohraňování celé výrobní série	[Kč]
$N_{celkVys}$	Celkové náklady na vysekávání celé výrobní série	[Kč]
$N_{celkzisk}$	Celkové náklady na výrobu s uvažovaným ziskem	[Kč]
N_{hLis}	Hodinové náklady na lisování	[Kč]
N_{hOhr}	Hodinové náklady na ohraňování	[Kč]
N_{hVys}	Hodinové náklady na vysekávání	[Kč]
N_{mat}	Náklady na materiál	[Kč]
n	Součinitel zahrnující vnější podmínky při stříhání	[-]
$n_{celkLis}$	Počet potřebných směn na zalisování celé výrobní série	[směny]
$n_{celkOhr}$	Počet směn potřebných na ohraňování celé výrobní série	[směny]
$n_{celkVys}$	Počet směn potřebných pro vysekávání celé výrobní série	[směny]
n_i	Množství jednoho typu součásti	[-]
n_{sad}	Počet sad počítačových skříní na tabuli	[ks]
$n_{směnyLis}$	Počet zalisovaných sad počítačové skříně za jednu směnu	[ks]
$n_{směnyOhr}$	Počet ohnutých sad za jednu směnu	[ks]
$n_{směnyVys}$	Počet polotovarů zpracovaných v jedné pracovní směně	[ks]
n_{tab}	Počet tabulí	[ks]
P	Nezalisovaná část matice	[mm]
p_p	Přidržovací tlak	[MPa]
Q	Velikost výrobní série	[ks]
R	Vnější poloměr ohybu	[mm]
R_a	Drsnost povrchu	[μm]
R_e	Mez kluzu	[MPa]
R_m	Mez pevnosti v tahu	[MPa]
R_{max}	Maximální poloměr ohybu	[mm]
R_{min}	Minimální poloměr ohybu	[mm]
R_o	Vnitřní poloměr ohybu	[mm]
r_p	Poloměr špičky razníku	[mm]
S_o	Celková plocha výstřižků	[mm ²]
S_p	Plocha plechové tabule či pásu	[mm ²]
$S_{pp_{max}}$	Maximální velikost kroku obdélníkového vysekávacího nástroje	[mm]
$S_{pp_{min}}$	Minimální velikost kroku obdélníkového vysekávacího nástroje	[mm]
S_{soui}	Plocha součásti	[mm ²]
S_{tab}	Plocha tabule	[mm ²]
s	Tloušťka materiálu	[mm]

s_{min}	Minimální tloušťka plechu	[mm]
$s_{stř}$	Střížná plocha	[mm ²]
\bar{s}	Nejmenší šířka vystupující z profilu výstřižku	[mm]
$t_{celkLis}$	Čas potřebný na zalisování prvků do jedné sady počítačové skříně	[min]
$t_{celkOhr}$	Čas potřebný na ohraňování jedné sady počítačové skříně	[min]
$t_{celkVys}$	Celkový čas na vysekání jedné tabule	[min]
t_{Lis}	Doba lisování za jednu pracovní směnu	[min]
t_{Lisk}	Čas potřebný pro zalisování distančních sloupků do krytu	[min]
t_{Lisp}	Čas potřebný pro zalisování matic do panelu	[min]
t_{Ohr}	Doba ohraňování za jednu pracovní směnu	[min]
t_{Ohrk}	Čas potřebný na ohraňování krytu	[min]
t_{Ohrp}	Čas potřebný na ohraňování panelu	[min]
$t_{přLis}$	Přípravný čas před lisováním	[min]
$t_{přOhr}$	Přípravný čas před ohraňováním	[min]
$t_{přVys}$	Přípravný čas před vysekáváním	[hod]
$t_{směny}$	Doba pracovní směny	[hod]
t_v	Čas na vysekání tabule	[min]
$t_{výměny}$	Čas na odstranění odpadu a založení nové tabule	[min]
t_{Vys}	Doba vysekávání za jednu pracovní směnu	[hod]
V	Optimální otevření matrice	[mm]
v	Střížná vůle	[mm]
x	Součinitel posunutí neutrální vrstvy při ohýbání	[mm]
z	Ztenčení pásu	[mm]
z_r	Součinitel rozšíření	[-]
z_z	Součinitel ztenčení	[-]
β	Úhel odpružení	[°]
γ	Úhel ohybu	[°]
γ_1	Úhel ohybu před odpružením	[°]
γ_2	Úhel ohybu po odpružení	[°]
ε_2	Přetvoření v daném směru (ose)	[-]
ε_{ef}	Efektivní přetvoření	[-]
ε_{max}	Maximální deformace v krajních vláknech	[-]
ε_{min}	Minimální deformace v krajních vláknech	[-]
η_{mat}	Součinitel využití materiálu	[-]
η_{odpad}	Součinitel nevyužitého materiálu	[-]
λ	Koeficient plnosti diagramu	[-]
ρ	Poloměr neutrální vrstvy	[mm]
ρ_n	Poloha neutrální vrstvy napětí	[mm]
ρ_{ocel}	Hustota oceli	[kg·m ⁻³]
σ_d	Tlakové napětí na vnitřní straně ohybu	[MPa]
σ_{ef}	Efektivní napětí	[MPa]
σ_i	Napětí v dané ose	[MPa]
σ_k	Mez kluzu	[MPa]
σ_p	Přirozený přetvárný odpor	[MPa]
σ_t	Tahové napětí na vnější straně ohybu	[MPa]
τ_s	Pevnost materiálu ve smyku	[MPa]

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Příklady součástí vyráběných tvářením [3], [4].....	9
Obr. 2 Rozměry krytů	10
Obr. 3 Rozměry panelů	10
Obr. 4 Součásti počítačové skříně	10
Obr. 5 Řezání laserem [9]	11
Obr. 6 Vodní paprsek [13].....	11
Obr. 7 Vysekávání [15].....	11
Obr. 8 Ohýbání [16].....	12
Obr. 9 Ohraňování [17].....	12
Obr. 10 TRUMPF Trumatic 200R [18]	13
Obr. 11 Fáze střížného procesu [15].....	13
Obr. 12 Střížné plochy při normální střížné vůli [19].....	14
Obr. 13 Střížný proces při různé střížné vůli [22]	14
Obr. 14 Schéma napjatosti a deformace [21]	15
Obr. 15 Průběh střížné síly [19]	16
Obr. 16 Nástřihové plány pro kruhové výrobky [24]	17
Obr. 17 Nástřihové plány pro obdélníkové výrobky [20]	18
Obr. 18 Metody vysekávání [20].....	18
Obr. 19 Kritické rozměry [20].....	18
Obr. 20 Minimální rozměry šířek [20].....	19
Obr. 21 Nástrojová sestava [26]	19
Obr. 22 Razníky [26]	19
Obr. 23 Ustavovací kroužek [26]	20
Obr. 24 Stěrač [26]	20
Obr. 25 Matrice [26]	20
Obr. 26 Niblování [26].....	20
Obr. 27 Metoda slitting [28].....	21
Obr. 28 Metoda Multishear [28].....	21
Obr. 29 Vysekávací stroj s C- rámem [29]	21
Obr. 30 Stroj s C – rámem [18]	22
Obr. 31 Stroj s O – rámem [30].....	22
Obr. 32 Vysekávací hlavy [26].....	22
Obr. 33 Lineární zásobník [31]	23
Obr. 34 Schéma ohybu momentem a osamělou silou [19]	23
Obr. 35 Stav napjatosti při ohýbání [16].....	23
Obr. 36 Ohýbání širokých pásů [19].....	24
Obr. 37 Rozložení napětí v průřezu ohýbaného polotovaru [31]	24
Obr. 38 Schéma ohybu momentem a osamělou silou [23]	25
Obr. 39 Závislost $x=f(R_0/s)$ pro $\gamma = 90^\circ$ [23].....	26
Obr. 40 Rozměry ohýbané součásti [23].....	26
Obr. 41 Odpružení po ohybu [16]	28
Obr. 42 Vliv směru vláken na ohyb [34]	29
Obr. 43 Minimální vzdálenost ohybu od kraje a otvoru [23].....	29
Obr. 44 Varianty tvarů u rohových nastřižení [35]	29
Obr. 45 Razník [36]	30
Obr. 46 Matrice [36]	30
Obr. 47 Hydraulické upínání [37].....	30
Obr. 48 Volný ohyb [33].....	30

Obr. 49 Ohyb s dotlačením [33]	31
Obr. 50 Tříbodový ohyb [33]	31
Obr. 51 Ohraňovací stroj [38]	31
Obr. 52 Programovatelné dorazy [31]	32
Obr. 53 Postup zalisování matice [40]	33
Obr. 54 Postup zalisování distančního sloupku [41]	33
Obr. 55 Hydraulický lis Pemserter 2000 [44]	34
Obr. 56 Pneumatický lis EMG 1T [45].....	34
Obr. 57 Počítačová skříň DMP – X6Pro.....	35
Obr. 58 Nejkratší vzdálenosti mezi otvory a ohyby	36
Obr. 59 Určení součinitele x	36
Obr. 60 Rozměry krytů	37
Obr. 61 Rozměry panelů v ose X	37
Obr. 62 Rozměry panelů v ose Y	37
Obr. 63 Rozměry rozvinutých tvarů	37
Obr. 64 Varianta A	38
Obr. 65 Varianta B.....	39
Obr. 66 Varianta C.....	40
Obr. 67 Varianta D	40
Obr. 68 Popis postupu vysekávání	42
Obr. 69 TRUMPF TruPunch 2000 [18]	46
Obr. 70 Postup ohraňování krytů.....	47
Obr. 71 Postup ohraňování panelů	47
Obr. 72 Razník OW 202/K [36]	47
Obr. 73 Délky segmentů razníku [36]	47
Obr. 74 Matrice EV/S W6/84° [36].....	48
Obr. 75 Délka matrice [36]	48
Obr. 76 TRUMPF TrumaBend V50 [46].....	49
Obr. 77 Rozměry matice [40].....	50
Obr. 78 Rozměry distančního sloupku [41]	50
Obr. 79 Pemserter series 4 [42]	51

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Základní mechanické vlastnosti a chemické složení oceli DX51D [8]	10
Tab. 2 Zvolené nástroje	41
Tab. 3 Minimální a maximální velikosti kroků při niblování	42
Tab. 4 Velikosti střížných sil a prací pro razníky s rovnou střížnou hranou	44
Tab. 5 Velikosti střížných sil a prací pro razníky se šikmou střížnou hranou	45
Tab. 6 Parametry stroje TRUMPF Trumatic 200 R	46
Tab. 7 Parametry stroje TRUMPF TruPunch 2000	46
Tab. 8 Velikosti ohraňovacích sil a prací	48
Tab. 9 Parametry stroje TRUMPF TrumaBend V50	49
Tab. 10 Parametry stroje TRUMPF TruBend V5130	49
Tab. 11 Parametry matic[40]	50
Tab. 12 Parametry distančních sloupků[41]	50
Tab. 13 Parametry stroje Pemserter Series 4 [42]	51

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č. 1 Mechanické vlastnosti a chemické složení oceli DX51D + Z275 MAC

Příloha č. 2 Hodnoty pro střižný faktor X [25]

Příloha č. 3 Tvary vysekávacích nástrojů [25]

Příloha č. 4 Určení ohraňovací síly [33]

Příloha č. 5 Diagram k určení koeficientu odpružení K [19]

Příloha č. 6 Parametry dané výrobcem pro zalisování matic [40]

Příloha č. 7 Parametry dané výrobcem pro zalisování distančních sloupků [41]

Příloha č. 8 Parametry stroje TRUMPF TruPunch 2000 [53]

Příloha č. 9 Určení dráhy razníku při ohraňování

Příloha č. 10 Vzorník RAL pro práškové barvy [54]

SEZNAM VÝKRESŮ

Kryt vrchní	2019-DP-1.1
Kryt spodní	2019-DP-1.2
Panel zadní	2019-DP-1.3
Panel přední	2019-DP-1.4
Spojka	2019-DP-1.5

Príloha č. 1 Mechanické vlastnosti a chemické složení oceli DX51D + Z275 MAC

2.2 TEST REPORT

N° 730920 fr. : 16/10/2018

Customer : * 1019102

ARCELORMITTAL DISTRIBUTION CZECH

REPUBLIC S.R.O.

ULICE MIRU 3267

738 01 FRYDEK-MISTEK

CZECH REPUBLIC

Del.Note No : 545939 fr. 16/10/2018

Order No : 334682/3

Cust. Ref. : SKLAD//1137

KATOWICE , Date 16/10/2018

Supplier : ARCELORMITTAL POLAND S.A.																			
UJASTEK 1 - 30-969 KRAKÓW																			
Quality : GALV-DX51D+Z275-M-A-CE				EN 10346				Size : 1.250 x 2000.00 x 1000.00				12.588 Tons							
Heat No	Coils N°	Chemical Analysis																	
		C(%) Mn(%) P(%) S(%) Si(%) Al(%) Nb(%) V(%) Ti(%) N(%) B(%) Cu(%) Ni(%) Cr(%) Mo(%) Sn(%) As(%) Zr(%)																	
306937	832434002H	0.040 0.220 0.009 0.007 0.006 0.001																	
306937	832434001H	0.040 0.220 0.009 0.007 0.006 0.001																	
Test No	Coils N°	Entity	Mechanical Values																
1002357751	832434002H	5592981	Rm	A% (A80)														Test temperature : +20°C	
			364 MPa	36.7 %															
			US Riv	US Cor															
1002357750	832434001H	5592983	Rm	A% (A80)														Test temperature : +20°C	
			364 MPa	36.7 %															
			US Riv	US Cor															
Entity	Coils N°	Surface characteristics																	
5592981	832434002H	M RVT. Coab. Th.																	
		Upper face																	
		Lower face																	
5592983	832434001H	M RVT. Coab. Th.																	
		Upper face																	
		Lower face																	
		Faces total																	

We certify hereby that the above mentioned products are consistent with the order prescriptions. Values transmitted by :
 BDO number 000014517 AMDS POLAND SPOLKA
 Z O.O.

Príloha č. 2 Hodnoty pro střížný faktor X [25]

Determining the theoretical punching force

The punching force F is determined using the following formula:

$$F = \frac{\text{Cutting edge length } L \text{ (mm)} \times \text{Sheet thickness } s \text{ (mm)} \times \text{Tensile strength } RM \text{ of the material (N/mm}^2\text{)}}{\text{Shear factor } X \text{ (only for bevels)}}$$

This means:

Round punch:

$$F = \Pi \times \varnothing \times s \times RM \div X$$

Square punch:

$$F = 4 \times a \times s \times RM \div X$$

Rectangular/oblong hole punch:

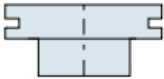
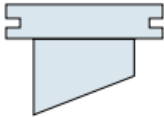
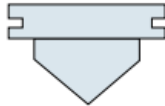
$$F = (a+b) \times 2 \times s \times RM \div X$$

Key	
Π	Pi
s	Sheet thickness
a	Side dimension
RM	Tensile strength
X	Shear factor
\varnothing	Diameter

Overview of tensile strength RM:

Steel	approx. 400 N/mm ²
Stainless steel	approx. 700 N/mm ²
Aluminum	approx. 300 N/mm ²

Shear factor

Sheet thickness s (in mm)	Shear factor flat X	Shear factor Whisper X	Shear factor roof X
			
1.0	1.00	3.50	1.53
1.5	1.00	2.66	1.44
2.0	1.00	2.25	1.35
2.5	1.00	2.00	1.30
3.0	1.00	1.83	1.25
3.5	1.00	1.71	1.11
4.0	1.00	1.62	1.19
5.0	1.00	1.50	1.15
6.0	1.00	1.41	1.12
8.0	1.00	1.31	1.08
10.0	1.00	1.25	approx. 1.00

Example:

Calculation of the required punching force for a square punch-out measuring 40 x 40 mm in 2 mm thick sheet steel.

A Whisper punch is used.

$$\frac{4 \times 40 \text{ mm} \times 2 \text{ mm} \times 400 \text{ N/mm}^2}{2.25} = 56,889 \text{ N}$$

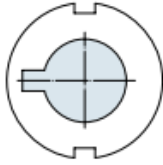
The reduced punching force is therefore F = 57 kN or 5.7 tons.

Punching force in relation to the punch type and sheet thickness

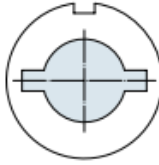
Punch type	Max. punching force	Max. sheet thickness		Material
		Punching	Nibbling	
Flat punches, size 0: Up to 6 mm outer circle diameter	50 kN	Mild steel: 2.0 mm Stainless steel: 1.5 mm	Not recommended	HSS HSS
Punch, size 0: 6 - 10 mm outer circle diameter	50 kN	Mild steel: 6.0 mm Stainless steel: 3.0 mm	Mild steel: 3 mm Stainless steel: not recommended	HSS HSS
Flat punches, size 1: (max. outer circle diameter: 30 mm)	200 kN	Up to maximum permissible sheet thickness of the machine	Up to maximum permissible sheet thickness of the machine	HSS
Flat punches, size 1 or 2: (max. outer circle diameter: 76.2 mm)	300 kN	Up to maximum permissible sheet thickness of the machine	Up to maximum permissible sheet thickness of the machine	HSS, oxidized
Punch with bevel	200 kN	Up to maximum permissible sheet thickness of the machine	For a tensile strength of 400 N/mm ² up to 3 mm For a tensile strength of 800 N/mm ² up to 2 mm	HSS

Příloha č. 3 Tvary vysekávacích nástrojů [25]

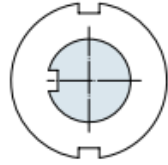
Shape 1



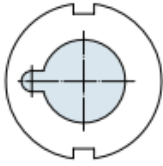
Shape 2



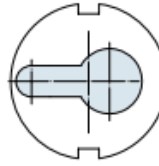
Shape 3



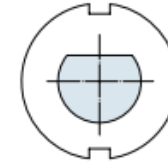
Shape 4



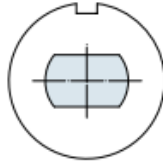
Shape 5



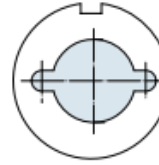
Shape 6



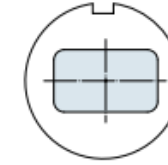
Shape 7



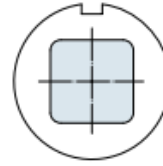
Shape 8



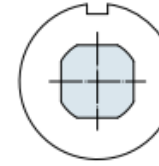
Shape 9



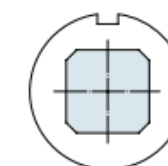
Shape 10



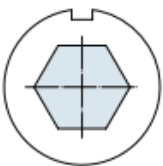
Shape 11



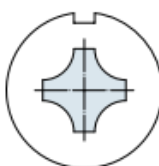
Shape 12



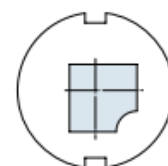
Shape 13



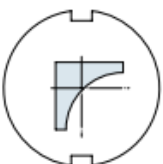
Shape 14



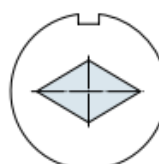
Shape 15



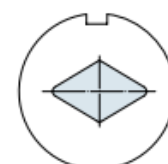
Shape 15



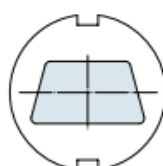
Shape 16



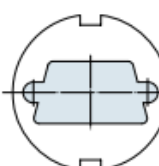
Shape 17



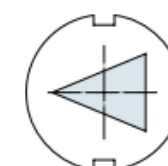
Shape 18



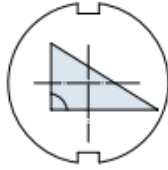
Shape 19



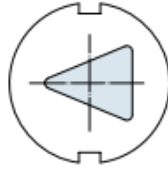
Shape 20



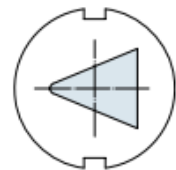
Shape 21



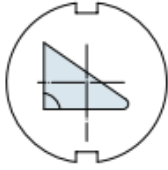
Shape 22



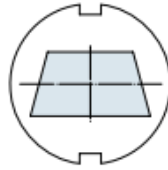
Shape 23



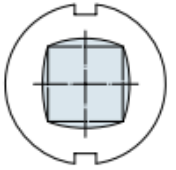
Shape 24



Shape 25



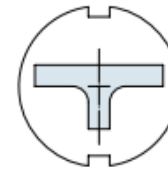
Shape 26



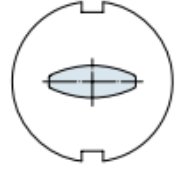
Shape 27



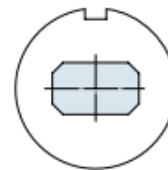
Shape 28



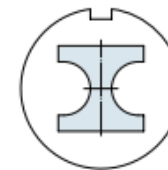
Shape 29



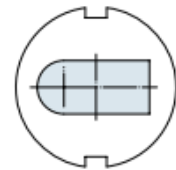
Shape 30



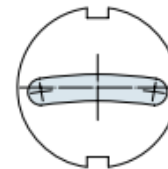
Shape 31



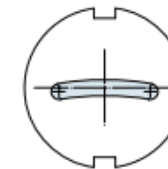
Shape 32



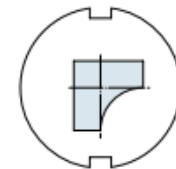
Shape 33



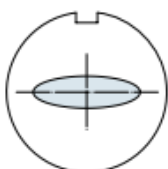
Shape 34



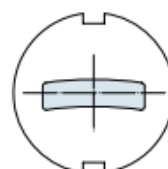
Shape 35



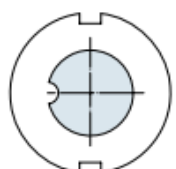
Shape 36



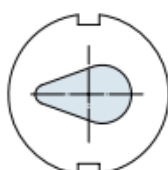
Shape 37



Shape 38



Shape 39



Shape 40



Příloha č. 4 Určení ohraňovací síly [33]

Pomoc při ohýbání

VÝHODY

Rozlišujeme dva různé typy ohýbání:

- Ohýbání do vzduchu
- Ohýbání domáčknutím

Při ohýbání domáčknutím je tlačná síla "F" přibližně 3 - 8x vyšší než ohýbáním do vzduchu.

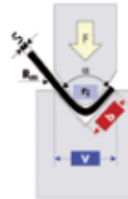
Šířka otevření matrice "V" by měla být 6 - 12x větší než tloušťka materiálu "s". Z toho vyplývá požadovaná tlačná síla "F" pro ohýbání do vzduchu. Pro správný výběr otevření matrice "V" musíme vzít v úvahu nejkratší ohyb "b" a úhel "α". Výběrem menší šířky otevření matrice "V" bude i vnitřní rádius "r_i" menší.



Ohýbání domáčknutím



Ohýbání do vzduchu



s Tloušťka materiálu

F Tlačná síla

V Šířka otevření matrice

b Nejkratší ohyb

r_i Vnitřní rádius

R_m Pevnost v tahu

α Úhel

S tabulkou tlaků a vzorců níže, můžete vypočítat příslušné hodnoty.

Tabulka tlaků: Požadovaná tlačná síla pro 90° ohýbání do vzduchu, pevnost v tahu R _m = 450 N/mm²																				
s (mm)	4	6	7	8	10	12	14	16	18	20	25	32	40	50	63	80	100	125	160	V (mm)
	2,9	4,3	5	5,7	7,1	8,5	9,9	11,4	12,8	14,2	17,7	22,7	28,3	35,4	44,6	56,6	70,8	88,4	113,2	b (mm)
	0,7	1	1,1	1,3	1,6	1,9	2,2	2,5	2,9	3,2	4	5	6,3	7,9	9,9	12,5	15,7	19,6	25	r _i (mm)
0,5	42	25																		
0,75	111	63	52	44	33	26														
1		125	101	84	63	50	41	35												
1,25		215	172	143	105	83	68	58	50	44										
1,5		338	269	221	162	127	103	87	75	66										
2					324	250	202	169	144	126	95									
2,5						430	344	286	243	211	158	115								
3								443	375	324	240	174	132							
4										648	472	338	252	190	143					
5												571	422	315	235	176				
6												886	648	480	355	263				
8														945	689	504	380	289	216	
10																844	630	475	352	
12																	959	717	527	
15	F _v kN/m																		870	

Příklad: s = 2,0 mm

Optimální šířka otevření matrice V: 12 mm
 Nejkratší ohyb b: 8,5 mm
 Vnitřní rádius r_i: 1,9 mm
 Potřebná tlačná síla F: 250 kN/m

Pevnost v tahu

Hliník	R _m = 200 - 300 N/mm ²
Ocel	R _m = 370 - 450 N/mm ²
Nerezová ocel	R _m = 650 - 700 N/mm ²

Výpočet optimální šířky otevření matrice V (v mm)

Tloušťka materiálu s	0,5 - 2,5	3,0 - 8,0	9,0 - 10,0	12,0 a více
Šířka otevření matrice V	6 x t	8 x t	10 x t	12 x t

Výpočet nejkratšího ohybu b (v mm)

Úhel α	165°	135°	120°	90°	60°	45°	30°
Nejkratší ohyb b	0,51 x V	0,55 x V	0,58 x V	0,71 x V	1 x V	1,31 x V	1,94 x V

Výpočet tlačné síly F (v kN/m)

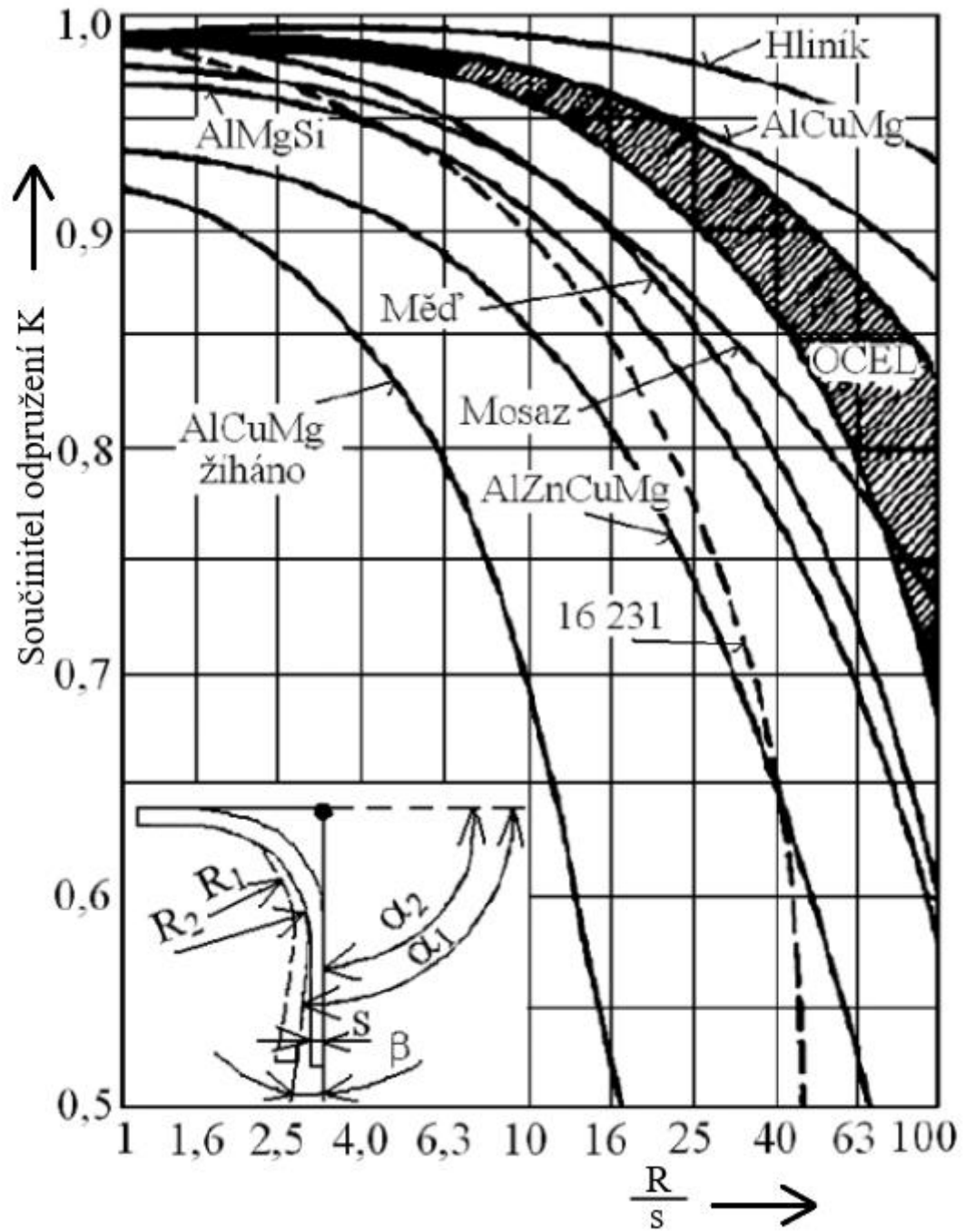
$$F = \frac{R_m \times s^2}{V} \times \left(1 + \frac{4 \times s}{V}\right)$$

Otěruvzdorné, rezavé nebo plechy neošetřené olejem značně zvyšují požadovanou tlačnou sílu.

Výpočet vnitřního rádiusu r_i (v mm)

$$r_i = \frac{5 \times V}{32}$$

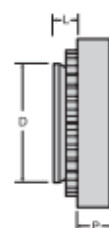
Příloha č. 5 Diagram k určení koeficientu odpružení K [19]







Příloha č. 6 Parametry dané výrobcem pro zalisování matic [40]

Lisovací matice**OCEL POZINK**

- Materiál: uhlíková ocel, kalená
- Povrchová úprava: pozink (ASTM B 633 SC1 5µm typ III bezbarvý)
- Závít: vnitřní závít (ANSI B1.1 2B ANSI/ASME B1.13M, 6H)
- Vhodné pro: tenké ocelové nebo hliníkové plechy s maximální tvrdostí 80 Rockwell B



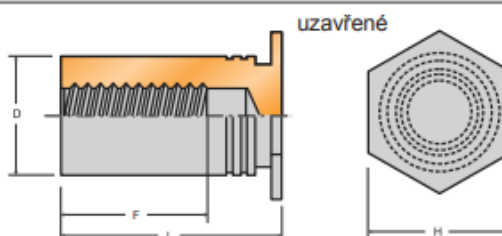
číslo položky	velikost závitu	 montážní otvor \varnothing +0,08/-0,00	min. tloušťka plechu	rozměry a tolerance				 lisovací síla* (kN)	 moment protáčení* (Nm)	 vytahovací síla* (kN)
				D \varnothing max.	H \varnothing +/- 0,25	P +/- 0,25	L max.			
S-M2-0ZI	M 2	4,22	0,8	4,2	6,3	1,5	0,77	11 - 16	1,5	0,47
S-M2-1ZI			1,0				0,97		1,7	0,55
S-M2-2ZI			1,4				1,38		2,0	1,01
S-M2,5-0ZI	M2,5		0,8				0,77		1,5	0,47
S-M2,5-1ZI			1,0				0,97		1,7	0,55
S-M2,5-2ZI			1,4				1,38		2,0	1,01
S-M3-0ZI	M 3		0,8				0,77		1,5	0,47
S-M3-1ZI			1,0				0,97		1,7	0,55
S-M3-2ZI			1,4				1,38		2,0	1,01
S-M3,5-0ZI	M3,5	0,8	0,77	13 - 27	1,8	0,48				
S-M3,5-1ZI		1,0	0,97		2,3	0,57				
S-M3,5-2ZI		1,4	1,38		2,3	1,21				
S-M4-0ZI	M 4	0,8	0,77	18 - 27	3,0	0,49				
S-M4-1ZI		1,0	0,97		4,0	0,65				
S-M4-2ZI		1,4	1,38		5,1	1,25				
SS-M5-0ZI	M 5	0,8	0,77	18 - 38	3,6	0,53				
SS-M5-1ZI		1,0	0,97		4,5	0,80				
SS-M5-2ZI		1,4	1,38		6,8	1,11				
S-M6-00ZI	M 6	0,92	0,89	27 - 36	10,0	0,90				
S-M6-0ZI		1,2	1,15		13,0	1,38				
S-M6-1ZI		1,4	1,38		17,0	1,76				
S-M6-2ZI		2,3	2,21		17,0	1,76				
S-M8-1ZI	M 8	1,4	1,38		18,7	1,87				
S-M8-2ZI		2,3	2,21		20,3	1,87				
S-M10-1ZI	M 10	2,31	2,21	32 - 50	36,2	2,02				
S-M10-2ZI		3,18	3,05		36,2	2,02				

* Hodnoty v ocelovém plechu

Příloha č. 7 Parametry dané výrobcem pro zalisování distančních sloupků [41]

Lisovací distanční sloupky**OCEL POZINK****uzavřené**

- Materiál: uhlíková ocel, kalená
- Povrchová úprava: pozink (ASTM B 633 SC1 5µm typ III, bezbarvý)
- Závit: vnitřní závit (ANSI B1.1 2B ANSI/ASME B1.13M, 6H)
- Vhodné pro: tenké ocelové plechy s maximální tvrdostí 80 Rockwell B



číslo položky	velikost závitů	montážní otvor \varnothing +0,08/-0,00	min. tloušťka plechu	rozměry a tolerance				lisovací síla* (kN)	moment protáčení* (Nm)	vytahovací síla* (kN)
				D \varnothing +0,00/-0,13	H \varnothing nom.	F min.	L +0,05/-0,13			
BSO-M3-6ZI	M3	4,22	1,02	4,20	4,8	3,2	6,0	9,8	2,2	1,00
BSO-M3-8ZI						4,0	8,0			
BSO-M3-10ZI						4,0	10,0			
BSO-M3-12ZI						5,0	12,0			
BSO-M3-14ZI						6,5	14,0			
BSO-M3-16ZI						6,5	16,0			
BSO-M3-18ZI						9,5	18,0			
BSO-M3-20ZI						9,5	20,0			
BSO-M3-22ZI						9,5	22,0			
BSO-M3-25ZI						9,5	25,0			
BSO-3,5M3-6ZI	M3**	5,41	1,02	5,39	6,4	3,2	6,0	14,7	2,2	1,86
BSO-3,5M3-8ZI						4,0	8,0			
BSO-3,5M3-10ZI						4,0	10,0			
BSO-3,5M3-12ZI						5,0	12,0			
BSO-3,5M3-14ZI						6,5	14,0			
BSO-3,5M3-16ZI						6,5	16,0			
BSO-3,5M3-18ZI						9,5	18,0			
BSO-3,5M3-20ZI						9,5	20,0			
BSO-3,5M3-22ZI						9,5	22,0			
BSO-3,5M3-25ZI						9,5	25,0			
BSO-M3,5-6ZI	M3,5	5,41	1,02	5,39	6,4	3,2	6,0	14,7	4,0	1,86
BSO-M3,5-8ZI						4,0	8,0			
BSO-M3,5-10ZI						4,0	10,0			
BSO-M3,5-12ZI						5,0	12,0			
BSO-M3,5-14ZI						6,5	14,0			
BSO-M3,5-16ZI						6,5	16,0			
BSO-M3,5-18ZI						9,5	18,0			
BSO-M3,5-20ZI						9,5	20,0			
BSO-M3,5-22ZI						9,5	22,0			
BSO-M3,5-25ZI						9,5	25,0			

* Hodnoty v ocelovém plechu tl. 1,5 mm

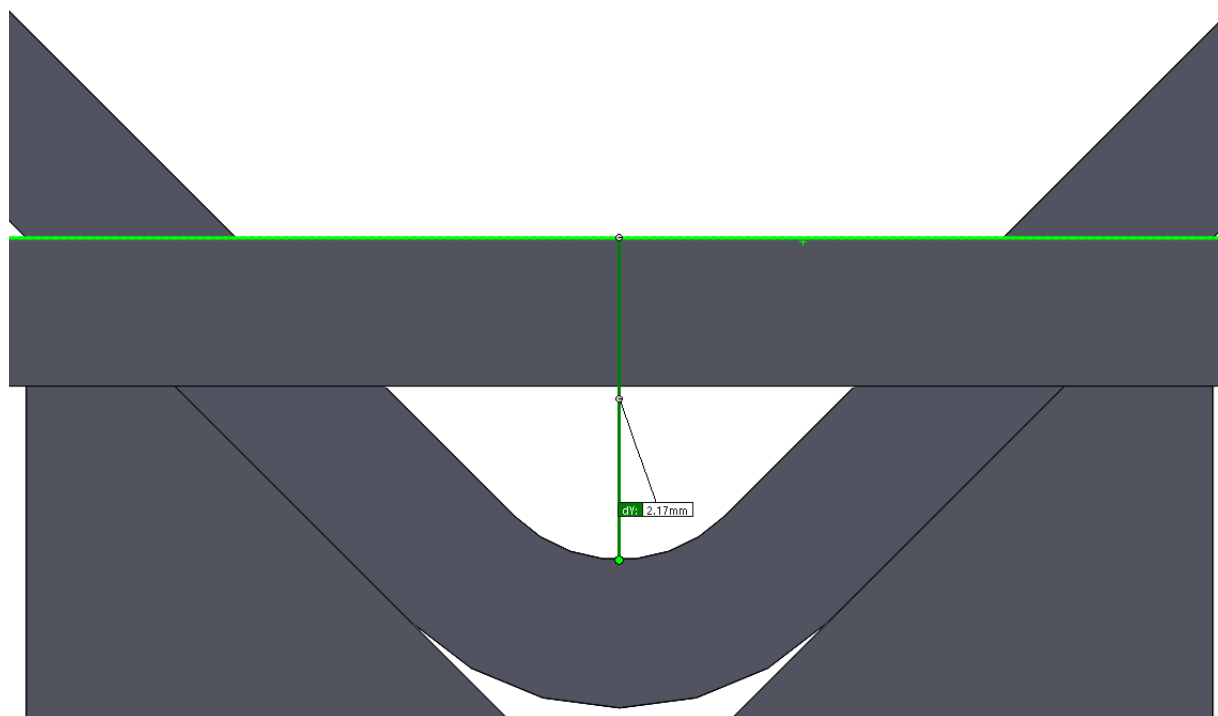
** Sloupky typu 3,5M3 mají větší sílu stěny

Příloha č. 8 Parametry stroje TRUMPF TruPunch 2000 [53]

TruPunch 2000 medium format

DIMENSIONS		
WIDTH		6540 mm *1
DEPTH		7237 mm *1
HEIGHT		2155 mm *1
MAX. STROKE RATE		
PUNCHING (E = 1 MM)		900 RPM
MARKING		1600 RPM
WORKING RANGE		
PUNCHING MODE, X AXIS		2500 mm
PUNCHING MODE, Y AXIS		1250 mm
MAX. SHEET THICKNESS		6.4 mm
MAX. WORKPIECE WEIGHT		150 kg
MAX. PUNCHING FORCE		165 kN
TOOLS		
MULTITOOL TOOL CHANGING TIME		2.4 sec
NUMBER OF TOOLS/CLAMPS		18 Pieces / 2 Pieces
PART REMOVAL		
MAX. PART SIZE, PART REMOVAL FLAP, PUNCHES		180 mm x 150 mm
MAX. PART SIZE - PUNCHING PART REMOVAL FLAP (WITH MOVING TABLE)		180 mm x 500 mm
MAX. PART SIZE – FIXED PUNCHING CHUTE (WITH MOVING TABLE)		460 mm x 500 mm
CONSUMPTION VALUES		
AVERAGE POWER CONSUMPTION OF ACTIVE AUTO-SHUTDOWN		0.3 kW
AVERAGE POWER INPUT IN PRODUCTION		4.5 kW

Příloha č. 9 Určení dráhy razníku při ohraňování



Znázorněná vzdálenost:
dY: 2,17 mm

Příloha č. 10 Vzorník RAL pro práškové barvy [54]

RAL 1000	RAL 1001	RAL 1002	RAL 1003	RAL 1004	RAL 1005	RAL 1006	RAL 1007
RAL 1011	RAL 1012	RAL 1013	RAL 1014	RAL 1015	RAL 1016	RAL 1017	RAL 1018
RAL 1019	RAL 1020	RAL 1021	RAL 1023	RAL 1024	RAL 1027	RAL 1028	RAL 1032
RAL 1033	RAL 1034	RAL 2000	RAL 2001	RAL 2002	RAL 2003	RAL 2004	RAL 2008
RAL 2009	RAL 2010	RAL 2011	RAL 2012	RAL 3000	RAL 3001	RAL 3002	RAL 3003
RAL 3004	RAL 3005	RAL 3007	RAL 3009	RAL 3011	RAL 3012	RAL 3013	RAL 3014
RAL 3015	RAL 3016	RAL 3017	RAL 3018	RAL 3020	RAL 3022	RAL 3027	RAL 3031
RAL 4001	RAL 4002	RAL 4003	RAL 4004	RAL 4005	RAL 4006	RAL 4007	RAL 4008
RAL 4009	RAL 5000	RAL 5001	RAL 5002	RAL 5003	RAL 5004	RAL 5005	RAL 5007
RAL 5008	RAL 5009	RAL 5010	RAL 5011	RAL 5012	RAL 5013	RAL 5014	RAL 5015
RAL 5017	RAL 5018	RAL 5019	RAL 5020	RAL 5021	RAL 5022	RAL 5023	RAL 5024
RAL 6000	RAL 6001	RAL 6002	RAL 6003	RAL 6004	RAL 6005	RAL 6006	RAL 6007
RAL 6008	RAL 6009	RAL 6010	RAL 6011	RAL 6012	RAL 6013	RAL 6014	RAL 6015
RAL 6016	RAL 6017	RAL 6018	RAL 6019	RAL 6020	RAL 6021	RAL 6022	RAL 6024
RAL 6025	RAL 6026	RAL 6027	RAL 6028	RAL 6029	RAL 6032	RAL 6033	RAL 6034
RAL 7000	RAL 7001	RAL 7001	RAL 7002	RAL 7003	RAL 7004	RAL 7005	RAL 7006

RAL 7008	RAL 7009	RAL 7010	RAL 7011	RAL 7012	RAL 7013	RAL 7015	RAL 7016
RAL 7021	RAL 7022	RAL 7023	RAL 7024	RAL 7026	RAL 7030	RAL 7031	RAL 7032
RAL 7033	RAL 7034	RAL 7035	RAL 7036	RAL 7037	RAL 7038	RAL 7039	RAL 7040
RAL 7042	RAL 7043	RAL 7044	RAL 8000	RAL 8001	RAL 8002	RAL 8003	RAL 8004
RAL 8007	RAL 8008	RAL 8011	RAL 8012	RAL 8014	RAL 8015	RAL 8016	RAL 8017
RAL 8019	RAL 8022	RAL 8023	RAL 8024	RAL 8025	RAL 8028	RAL 9001	RAL 9002
RAL 9003	RAL 9004	RAL 9005	RAL 9010	RAL 9011	RAL 9016	RAL 9017	RAL 9018